

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



**GRADO INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO DE UN PARQUE  
EÓLICO EN EL SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR**

**AUTOR: IVÁN DE IRIARTE RODRÍGUEZ**

**TUTOR: PABLO LEDESMA LARREA**

**SEPTIEMBRE 2014**



# ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVO DEL PROYECTO</b>	<b>14</b>
<b>3. SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR.</b>	<b>15</b>
<b>3.1 CENTRALES ELÉCTRICAS.</b>	<b>18</b>
3.1.1 Central de Alcudia II.	20
3.1.2 Central de Cas Tresorer.	21
3.1.3 Central de Son Reus.	22
3.1.4 Central de Mahón.	23
<b>3.2 INTERCONEXIÓN PENÍNSULA IBÉRICA-MALLORCA.</b>	<b>24</b>
<b>3.4 PARQUE EÓLICO.</b>	<b>27</b>
<b>3.5 MODELADO DEL SISTEMA ELÉCTRICO CON PSSE</b>	<b>29</b>
3.5.1 Flujo de cargas.	31
3.5.2 Generación del informe.	32
3.5.3 Despacho económico (OPF).	36
<b>3.6 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PYTHON</b>	<b>42</b>
<b>4. MÉTODO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.</b>	<b>44</b>
<b>4.1 OBTENCIÓN DEL FICHERO DE SALIDA OPF_OUTPUT.</b>	<b>45</b>
<b>4.2 OBTENCIÓN DEL ARCHIVO MATLAB.</b>	<b>50</b>
<b>5. EJEMPLO DE APLICACIÓN.</b>	<b>55</b>
<b>5.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES.</b>	<b>56</b>
<b>5.2 MÉTODO DE OBTENCIÓN DE LOS COSTES.</b>	<b>58</b>
<b>5.3 RESULTADOS.</b>	<b>62</b>

<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>65</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA. ....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO I. CODIGOS FUENTE PROGRAMAS .....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO II. FICHERO MALLORCA.RAW .....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO III. PARÁMETROS ELÉCTRICOS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO IV. REPORTE DE DATOS DESPACHO ECONÓMICO .....</b>	<b>84</b>
<b>ANEXO V. DIAGRAMA Y MAPA TRANSPORTE BALEAR.....</b>	<b>95</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Países con mayor capacidad eólica .....	9
Figura 2. Costes fuentes de energía.....	10
Figura 3. Reparto de potencias Comunidades Autónomas.....	11
Figura 4. Cobertura demanda Mallorca.....	11
Figura 5. Diagrama unifilar Mallorca.....	16
Figura 6. Central térmica convencional.....	18
Figura 7. Central ciclo combinado .....	19
Figura 8. Proyecto Rómulo.....	22
Figura 9. Mapa Municipio Artá.....	27
Figura 10. Rosa de los vientos Artá.....	28
Figura 11. Datos de red .....	29
Figura 12. Datos de red después del flujo de cargas .....	30
Figura 13. Despacho económico .....	35
Figura 14. Curva de costes totales.....	36
Figura 15. Curva de costes marginales.....	36
Figura 16. Diagrama de flujo.....	43
Figura 17. Run Automation File.....	45

Figura 18. Tabla de costes 3D .....	50
Figura 19. Tabla de costes Matlab.....	51
Figura 20. Representación gráfica 10x10.....	52
Figura 21. Parque eólico.....	54
Figura 22. Curva demanda Mallorca .....	55
Figura 23. Curva precio Peninsular .....	55
Figura 24. Gráfico frecuencia-Producción .....	56
Figura 25. Datos de producción eólica (%).....	56
Figura 26. Costes sin producción eólica.....	61
Figura 27. Costes con producción eólica.....	61

# ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Resumen central Alcudia II.....	20
Tabla 2. Consumo combustible Alcudia II.....	20
Tabla 3. Resumen central Cas Tresorer.....	21
Tabla 4. Consumo central Cas Tresorer .....	21
Tabla 5. Resumen central Son Reus .....	22
Tabla 6. Consumo central Son Reus.....	22
Tabla 7. Resumen central Mahón.....	23
Tabla 8. Consumo central Mahón .....	23
Tabla 9. Distribución viento Artá.....	27
Tabla 10. Valores de variables .....	45
Tabla 11. Tensión en los nudos .....	50

# **1. INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

*Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales inagotables a escala humana, bien porque el recurso dispone de una cantidad de energía inmensa, bien porque el recurso tiene la capacidad de regenerarse de manera natural.*

*La utilización de energías renovables es muy antigua. En la actualidad, las energías renovables constituyen fuentes de abastecimiento energético autóctonas y respetuosas con el medio ambiente<sup>1</sup>.*

Existen diferentes fuentes de energía renovable, según los recursos naturales utilizados para la generación de la energía. Estas fuentes pueden ser biocarburantes, biomasa, geotérmica de alta y baja entalpía, marina, minihidráulica, solar fotovoltaica, solar térmica, solar termoeléctrica, minieólica y eólica.

*Dentro de las posibilidades de las distintas energías renovables, la eólica, por su grado de desarrollo, sus costes y su carácter limpio e inagotable, tiene un alto potencial de aplicación, como recurso energético endógeno, en aquellas áreas que cuentan con el viento necesario para permitir su aplicación<sup>2</sup>.* Debido a su gran importancia y crecimiento a nivel mundial utilizaremos la energía eólica como fuente de energía renovable.

La energía eólica ha tenido un crecimiento a lo largo de los años, hasta alcanzar a finales del 2013 una potencia total instalada a nivel mundial de 318 GW. Los cuatro países con mayor capacidad son China, USA, Alemania y España (Figura 1).

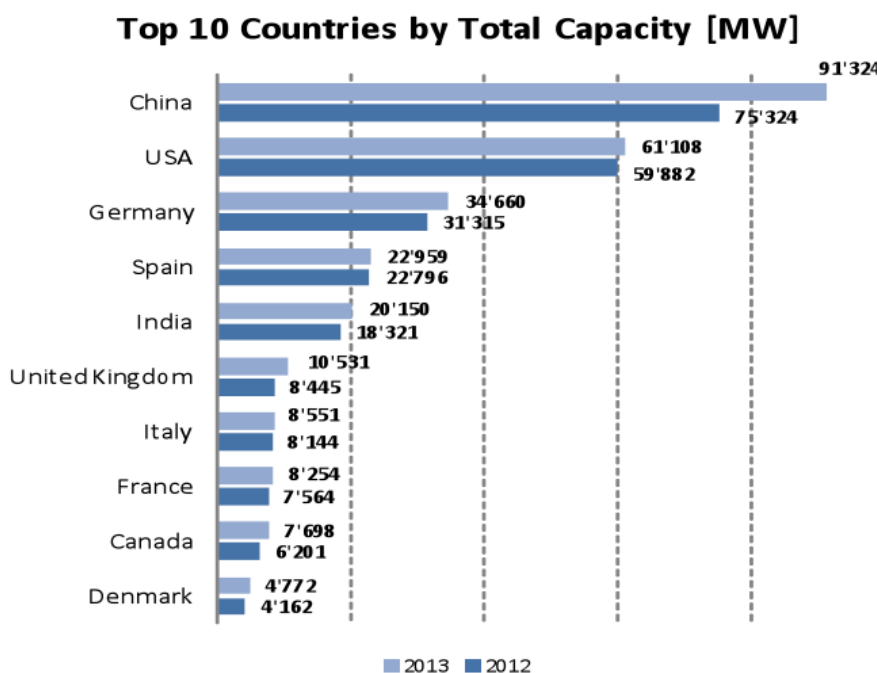


Figura 1. Países con mayor capacidad eólica. Fte: WWEA

<sup>1</sup> (Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA))

<sup>2</sup> (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE))

En España la energía eólica ha sido la primera fuente de generación en el 2013. Esto ha ocurrido por primera vez en toda su historia. Esta energía cubre una demanda del 21% con una producción de 54.478 GWh. Además, España exporta tecnologías en el sector eléctrico por valor de 2.000 millones de euros al año. La energía eólica aporta directa e indirectamente 2.623 millones al PIB lo que representa el 0,24 %.

España es un país con una fuerte dependencia del exterior (el 81% de la energía primaria que se consume es importada y procede de combustibles fósiles) y necesita más seguridad de aprovisionamiento. La energía eólica evita la importación de combustibles fósiles con valor de 2000 millones de euros al año. Numerosos países en Europa están apostando por la energía eólica.

En un principio la energía eólica requiere de una importante inversión inicial, pero una vez construido el parque eólico no presenta casi gastos. La mayor parte de los gastos son por mantenimiento y repuestos, pero no por combustible. Debido a esto, El coste de la energía eólica es más estable que los precios de otras fuentes de energía fósil, mucho más volátiles. *El costo marginal de la energía eólica es esencialmente cero, es decir, en un punto dado en el tiempo, no te cuesta nada para producir MWh extra (todo lo que se necesita es más viento). En contraste, el costo marginal de una central eléctrica va a ser importante, ya que cada MWh nuevo requiere una cantidad de combustible adicional*<sup>3</sup>. Esto, se puede observar en la siguiente figura.

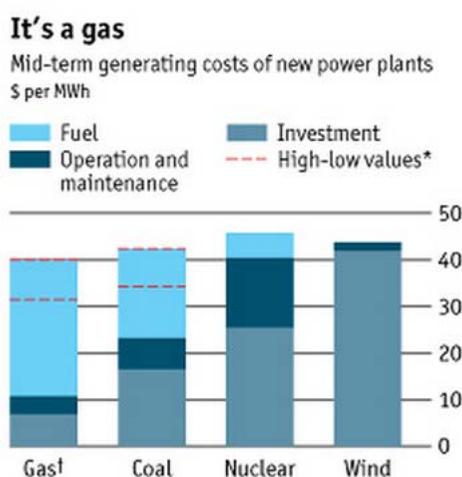


Figura 2. Coste fuentes de energía. Fte: The Economist, 2005

Como se puede observar, existen tres tipos de costes, de inversión, de operación y mantenimiento, y de combustible. En las centrales de gas el mayor coste viene dado por el combustible, mientras que el coste por mantenimiento e inversión es muy inferior. En las centrales de carbón pasa algo parecido a las de gas, pero no hay tanta diferencia de costes. En las centrales nucleares ocurre todo lo contrario, los costes más elevados vienen dados por la inversión y el mantenimiento, y el coste por combustible es muy pequeño. En los parques eólicos como se ha visto anteriormente el mayor coste viene dado por la inversión inicial, mientras que los costes por mantenimiento son prácticamente nulos y por combustible cero.

<sup>3</sup> (OLINO (energías renovables))

La energía eólica alcanzó la paridad de red (el punto en el que el coste de esta energía es igual o inferior al de otras fuentes de energía tradicionales) en algunas áreas de Europa y de Estados Unidos a mediados de la década de 2000.

Dentro de España las comunidades con mayor potencia instalada son Castilla y León con un 24,22 %, Castilla-La Mancha con un 16,58 %, Andalucía con un 14,54 % y Galicia con un 14,43 % como podemos observar en la siguiente figura.

**Reparto de la potencia instalada por Comunidades Autónomas en 2013**  
(ordenadas por potencia acumulada)  
**La potencia eólica total instalada alcanza los 22.959 MW**

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Acumulado a 31/12/2012	Potencia en 2013	Acumulado a 31/12/2013	% sobre total	Nº de parques (*)
Castilla y León	5.510,61	49,40	5.560,01	24,22 %	241
Castilla-La Mancha	3.806,54		3.806,54	16,58 %	139
Andalucía	3.263,23	74,50	3.337,73	14,54 %	153
Galicia	3.311,47	2,65	3.314,12	14,43 %	158
Aragón	1.888,81	4,50	1.893,31	8,25 %	87
Cataluña	1.258,05	9,00	1.267,05	5,52 %	46
Comunidad Valenciana	1.188,99		1.188,99	5,18 %	38
Navarra	979,92	24,00	1.003,92	4,37 %	49
Asturias	512,45	6,00	518,45	2,26 %	21
La Rioja	446,62		446,62	1,95 %	14
Murcia	261,96		261,96	1,14 %	14
Canarias	160,11	5,00	165,11	0,72 %	55
País Vasco	153,25		153,25	0,67 %	7
Cantabria	38,30		38,30	0,17 %	4
Baleares	3,68		3,68	0,02 %	46
<b>TOTAL</b>	<b>22.783,97</b>	<b>175,05</b>	<b>22.959,02</b>		<b>1.072</b>

Figura 3. Reparto de la potencia por Comunidades Autónomas. Fte: <http://www.aeeolica.org/>

Como se puede observar la Comunidad Autónoma con menor potencia instalada es Islas Baleares con una potencia de 3,68MW lo que supone el 0,02% de la potencia total. En el siguiente gráfico se muestra como se suministra la demanda de Mallorca:

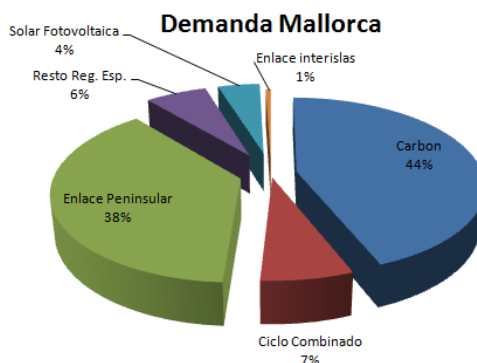


Figura 4. Cobertura de la demanda Mallorca. Fte: REE

Podemos ver que la mayor parte de la producción es del carbón (44%) y del enlace Peninsular (38%), mientras que el otro 18% restante se reparte entre el ciclo combinado, Régimen Especial y solar fotovoltaica.

Debido a la importancia de la energía eólica, su bajo precio y su auge en la última década en España, así como la limitada generación de este tipo de energía en el Sistema Eléctrico Balear, en este proyecto se realizará una evaluación económica de la generación de un parque eólico en las islas de Mallorca-Menorca.

Para la evaluación del impacto económico es frecuente realizar un despacho económico sin restricciones, pero esto puede ocasionar alteraciones en el precio. Por lo tanto, la realización de la evaluación económica de este proyecto se realizará teniendo en cuenta dichas restricciones técnicas, como sobrecargas por las líneas y tensión en los nudos, mediante un método sistemático de flujo de cargas óptimo.

Para ello se utilizarán varias herramientas informáticas:

- PSS/E: Este programa se utilizará para la realización de los flujos de carga óptimos.
- Python: Mediante el cual se automatizarán las tareas y se cubrirán un gran número de casos.
- Matlab: Para facilitar la manipulación de datos.

## **2. OBJETIVO DEL PROYECTO**

## 2. OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto consiste en la creación de una herramienta que nos permita hacer una evaluación económica del impacto de un parque eólico en el Sistema Eléctrico Balear.

Una pieza fundamental de esta herramienta es una tabla tridimensional que contiene los costes de operación de un sistema eléctrico para diferentes combinaciones. Las variables de entrada a esta tabla son la demanda del sistema eléctrico, la producción del parque eólico y el precio de la energía en la Península Ibérica. La tabla contiene 10 valores de cada una de estas tres variables, por lo que es una tabla de  $10 \times 10 \times 10$ , es decir, 1000 valores.

Para el cálculo de esta tabla acudiremos a tres programas:

- PSS/E, programa en el cual se realizarán las simulaciones del Sistema Eléctrico Balear, para los distintos valores de las variables anteriormente mencionadas. Estas simulaciones deberán cumplir con las restricciones técnicas de tensión en los nudos y carga por las líneas, ya que si no el sistema eléctrico no cumplirá con los criterios de estabilidad.
- Python, lenguaje de programación mediante el cual ejecutaremos de forma automática las simulaciones en PSS/E, puesto que ambos programas son compatibles y pueden trabajar conjuntamente, También usaremos este programa para la creación de la tabla de costes.
- Matlab, Herramienta matemática que permitirá trabajar con la tabla de costes obtenida mediante el programa Python.

Para la ejecución de este resultará imprescindible el conocimiento de los flujos de carga y el despacho económico en PSS/E, así como saber programar en los dos lenguajes de programación anteriormente mencionados.

Este trabajo contiene un ejemplo aplicativo de la herramienta desarrollada. El ejemplo consistirá en el cálculo del ahorro económico de combustible obtenido al instalar un parque eólico de 50 MW, mediante valores reales de demanda y precio peninsular, y valores estimados de la producción eólica del parque.

En resumen, el objetivo principal de este proyecto será llevar a cabo una evaluación del impacto económico de una central eólica en el sistema eólico balear, mediante una herramienta que se generará a partir de tres programas esenciales para la realización de la misma.

### **3. SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR**

### 3. SISTEMA ELÉCTRICO BALEAR.

El objeto de estudio del proyecto es la red eléctrica balear, incluyendo las interconexiones submarinas de Mallorca con la Península Ibérica y de Mallorca con Menorca.

La obtención del diagrama de la red se obtuvo del mapa de transporte balear que aparece en la página de Red Eléctrica de España, en el cual aparecen tanto la red de transporte (220-132 KV) como la red de reparto (66 KV), así como las subestaciones (nudos) y las centrales.

Los parámetros eléctricos del sistema eléctrico de Mallorca-Menorca se calcularon de la siguiente manera:

- Las líneas se obtuvieron mediante el cálculo del modelo  $\pi$ , en el cual se incluyen la parte resistiva, inductiva y capacitiva.
- Las cargas de la red serán variables a lo largo del proyecto, ya que seguirán la curva de la demanda.
- La información de los datos de la potencia de cortocircuito de la red y de la tensión de cortocircuito de los transformadores no se ha podido obtener de la página de Red Eléctrica de España, por lo tanto, esta información se ha obtenido a partir de proyectos que utilizan potencias similares en los generadores y transformadores.

El diagrama unifilar de la red es el siguiente:

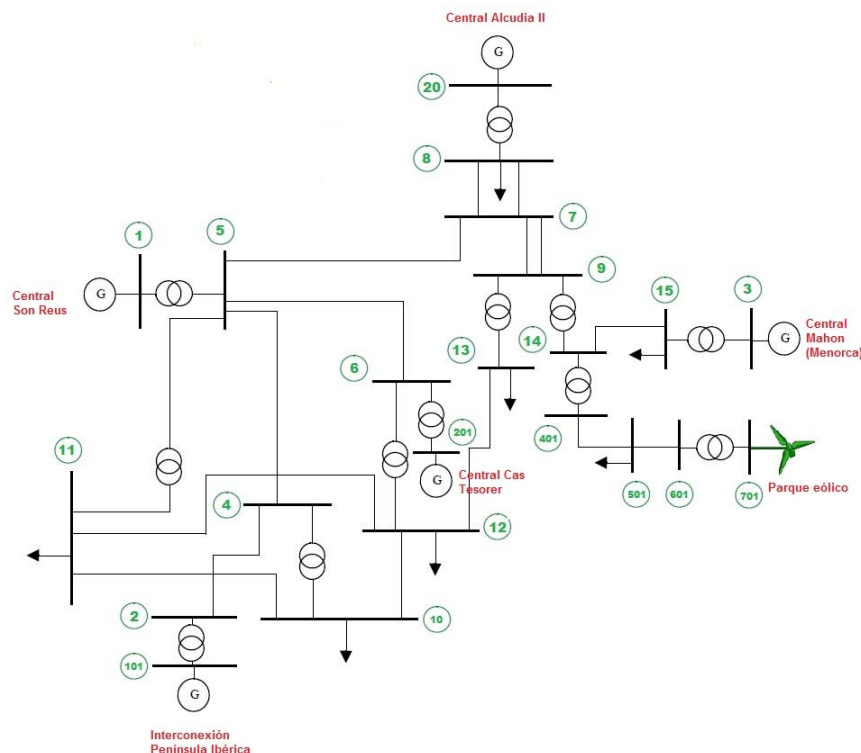


Figura 5. Diagrama unifilar red de Mallorca



La red está compuesta por 22 nudos, 6 fuentes de alimentación, 7 cargas, 16 líneas, y 12 transformadores. Dentro del sistema se aprecian cuatro niveles de tensión: 20, 66, 132 y 220 KV.

El nivel de tensión de 20 KV corresponde a las fuentes de generación, que se encuentran en los nudos: nudo 1 correspondiente a la central de Son Reus, nudo 3 a la central de Mahón de Menorca, nudo 20 a la central de Alcudia II, nudo 201 a la central de Cas Tresorer y nudo 701 correspondiente al parque eólico utilizado en este proyecto.

El siguiente nivel de tensión de 66 KV corresponde a los nudos 10, 11, 12, 13, 401, 501, 601 y a 6 líneas de transporte de alta tensión.

La tensión a 220 KV corresponde a la red de transporte a muy alta tensión en la cual se encuentran los nudos 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 9 líneas eléctricas que unen estos nudos entre sí. Este nivel de tensión es uno de los más utilizados para las redes de transporte debido a que gracias a su alto nivel de tensión disminuyen las pérdidas por la línea.

El último nivel de tensión que encontramos en esta red es el de 132 KV, que aparece en los nudos 14 y 15, y una línea de unión entre ambos nudos. Este nivel de tensión se suele utilizar para interconexiones peninsulares. En este sistema corresponde a la interconexión entre las islas de Mallorca y Menorca.

La transformación de tensión viene dada por nueve transformadores a diferente nivel de tensión. Los transformadores elevadores de tensión corresponden a los nudos 1-5, 101-2, 20-8 a un nivel de tensión de 20 a 220 KV, los nudos 701- 601 a un nivel de tensión de 20 a 66 KV correspondiente al parque eólico, y los nudos 3-15 a un nivel de tensión de 20 a 132 KV en la que encontramos el enlace Menorca-Mallorca.

También se encuentran cinco transformadores reductores en la unión entre los siguientes nudos 4 -10, 5-11, 6-12, 9-15 con una disminución de tensión de 220 a 66 Kv correspondiente al paso de la red de transporte de muy alta tensión a la red de reparto de alta tensión, y los nudos 14-401 a un nivel de tensión de 132 a 66 Kv que da lugar al nivel de tensión de interconexión con la red de reparto de alta tensión.

Las cargas, que suponen la demanda de Mallorca, están distribuidas a lo largo de los nudos 8, 10, 11, 12, 13, 15 y 501

La potencia total instalada de dicho sistema eléctrico es de 2003 MW, de la cual 1485 MW corresponden a las 4 centrales, 400 MW de la interconexión con la Península y 50 MW del parque eólico objetivo de estudio en este proyecto. Esta potencia sería la potencia al 100 % de utilización, pero la demanda en Mallorca es inferior por lo que nunca llegara a ese porcentaje de utilización.

La potencia total demandada corresponde a la curva de la demanda de Mallorca que variará según las horas y los meses del año. .

### 3.1 Centrales eléctricas.

Como se ha señalado anteriormente, dentro de la red de Mallorca-Menorca consideramos cuatro centrales eléctricas, de las cuales la central de Alcudia II y de Mahón son térmicas convencionales y las de Son Reus y Cas Tresorer son de ciclo combinado.

A continuación se realizará un pequeño resumen del funcionamiento de los dos tipos de centrales.

- Central térmica convencional:

Las centrales térmicas convencionales son aquellas que producen energía a partir de combustibles fósiles como el carbón, fuel oil o gas natural, mediante un ciclo termodinámico de agua-vapor.

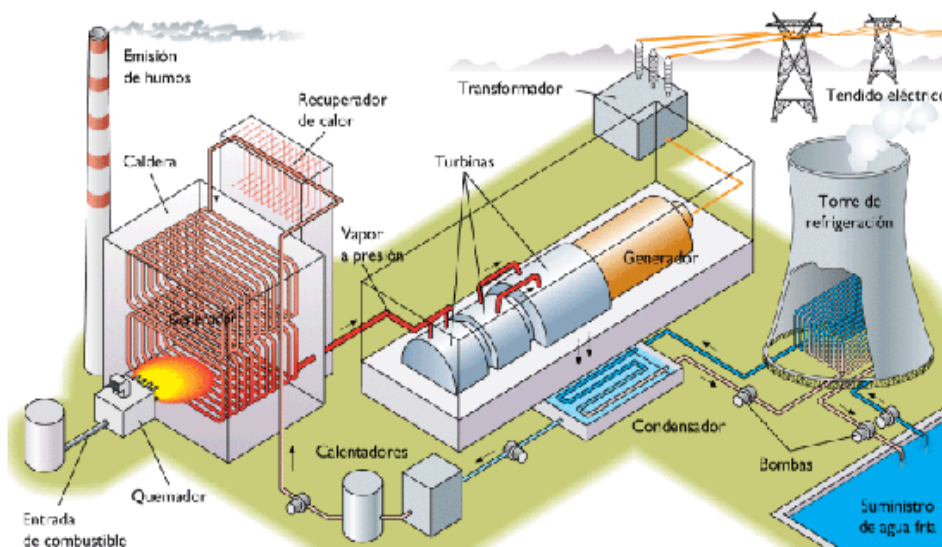


Figura 6. Central térmica convencional. Fte: <http://centralesdeenergia.blogspot.com>

Una central térmica convencional consta de las siguientes partes:

- **Condensador:** La principal función del condensador es la de ser el foco frío o sumidero del calor dentro del ciclo termodinámico. Se trata de un intercambiador de calor en el cual el agua pasa de un estado de vapor a un estado líquido, para su reutilización. La presión en el condensador tiene que ser lo más baja posible.
- **Torre de refrigeración:** La torre de refrigeración está unida al condensador. El vapor de agua se pone en contacto con el aire dando lugar al enfriamiento del agua y cayendo posteriormente a una balsa a una temperatura inferior.
- **Bomba:** La función de la bomba es llevar el agua del condensador a la caldera aumentando su presión a la máxima presión del ciclo.
- **Caldera:** La caldera constituye el foco caliente del ciclo. Aquí se quema el combustible, y el agua mediante un intercambiador de calor pasa a un estado gaseoso.
- **Turbina:** Máquina que recoge el vapor de agua, y que gracias a un complejo sistema de presiones y temperaturas, consigue que se mueva el eje que le atraviesa. La turbina normalmente está compuesto por varios cuerpos, de alta, media y baja presión, para el aprovechamiento del agua.

La turbina está unida a un alternador que convierte la energía mecánica en energía eléctrica, para su posterior utilización.

Funcionamiento de la central térmica convencional:

Una central térmica ya sea convencional o nuclear funciona mediante el ciclo de Rankine. Primero se recoge el agua que está depositada en una piscina o un río. Después, mediante una bomba se transporta el agua hasta la caldera aumentando su presión a la presión máxima del ciclo y a entropía constante. Una vez que el agua llega a la caldera se aumenta la temperatura hasta la máxima temperatura, en este punto el agua se transforma de estado líquido a gaseoso. Posteriormente pasa por la turbina, en la cual se produce un trabajo que después se transformará en energía, y disminuye la presión y la temperatura a entropía constante. Por último, el vapor de agua pasa al condensador donde disminuye su presión y temperatura hasta los valores más bajos del ciclo. Este ciclo descrito se repite constantemente.

- Central de ciclo combinado:

Las centrales de ciclo combinado como su propio nombre indica, combinan dos tipos de ciclos, el ciclo Rankine anteriormente nombrado y el ciclo Brayton o ciclo de gas.

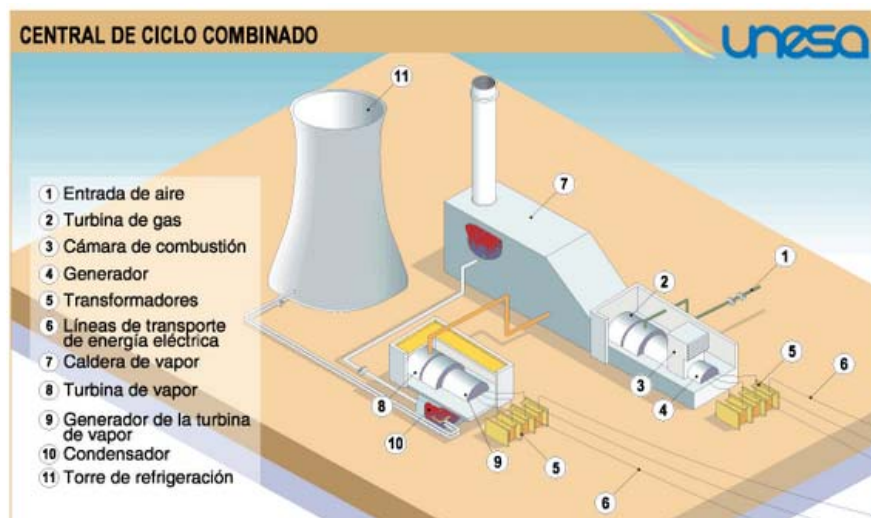


Figura 7. Central ciclo combinado. Fte: <http://www.unesa.es>

La central de ciclo combinado a parte de los elementos del ciclo de Rankine consta de:

- Compresor: Del cual absorbe el aire como fluido de trabajo.
- Cámara de Combustión: En la que se quema el combustible para calentar el aire.
- Turbina: De aquí se obtiene el trabajo que posteriormente se convertirá en energía.

El funcionamiento de la central de ciclo combinado es el siguiente:

Se recoge aire del entorno mediante el compresor a una presión baja, el aire aumenta de temperatura y presión a entropía constante. Después, éste pasa por la cámara de combustión donde se quema el gas y se mezcla con el aire que sale del compresor alcanzando unas

temperaturas de 1300° C. Posteriormente, llega a la turbina en su última etapa de expansión a unos 600° C, en la cual vuelve a la presión baja del ciclo.

El aire sale del compresor y pasa por un intercambiador de calor, que sirve para alimentar el ciclo Rankine.

El trabajo total de la central de ciclo combinado viene dado por la suma del trabajo de la turbina de gas (ciclo Brayton) más la turbina de vapor (ciclo Rankine).

### 3.1.1 Central de Alcudia II.

La central de Alcudia II es una central térmica convencional situada al norte de Mallorca. Consta de cuatro grupos de vapor que queman hulla, y dos grupos de turbina de gas que utilizan gasóleo como combustible. La potencia nominal instalada es de 510 MW.

Resumen	
<b>Cod. Centro:</b>	137
<b>Nombre del complejo:</b>	CENTRAL TÉRMICA ALCUDIA
<b>Empresa Matriz:</b>	GAS Y ELECTRICIDAD GENERACIÓN
<b>Dirección:</b>	SA POBLA A ALCÚDIA
<b>Numero de vía:</b>	S/N
<b>Código postal:</b>	07400
<b>Población:</b>	ALCUDIA
<b>Municipio:</b>	Alcúdia
<b>Provincia:</b>	Balears (Illes)
<b>Demarcación hidrográfica:</b>	Baleares
<b>Longitud:</b>	3,091257
<b>Latitud:</b>	39,810605
<b>CNAE-2009:</b>	35.16 - Producción de energía eléctrica de origen térmico convencional
<b>Actividad económica principal:</b>	Generación eléctrica

Tabla 1. Resumen central Alcudia II. Fte: <http://www.prtr-es.es>

Consumo de combustibles CI/año	Consumo en
103 – HULLA SUB-BITUMINOSA Y LIGNITO NEGRO (17435 KJ/Kg < PCS < 23865 KJ/Kg)	28.157.431,29
203 – FUELÓLEO	1.329.464,42
204 – GASÓLEO NO-AUTOMOCIÓN	36.343,06

Tabla 2. Consumo combustible Alcudia II. Fte: <http://www.prtr-es.es>

### 3.1.2 Central de Cas Tresorer.

La central de Cas Tresorer es una central termoeléctrica de ciclo combinado situado en el término municipal de Palma de Mallorca. Es una central biocombustible constituida por dos ciclos combinados (Cas Tresorer CC1 y Cas Tresorer CC2) que consume gas natural como combustible principal y está preparada para consumir gasóleo en el caso de problemas de suministro con el gas natural. Cuenta con una potencia nominal instalada de 480 MW.

Resumen	
<b>Cod. Centro:</b>	6516
<b>Nombre del complejo:</b>	CENTRAL CICLO COMBINADO CA'S TRESORER
<b>Empresa Matriz:</b>	GAS Y ELECTRICIDAD GENERACIÓN
<b>Dirección:</b>	CAMÍ FONDO.
<b>Numero de vía:</b>	S/N
<b>Código postal:</b>	07007
<b>Población:</b>	PALMA
<b>Municipio:</b>	Palma
<b>Provincia:</b>	Balears (Illes)
<b>Demarcación hidrográfica:</b>	Baleares
<b>Longitud:</b>	2,689966
<b>Latitud:</b>	39,567803
<b>CNAE-2009:</b>	35.16 - Producción de energía eléctrica de origen térmico convencional
<b>Actividad económica principal:</b>	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Tabla 3. Resumen central Cas Tresorer. Fte: <http://www.prtr-es.es>

Consumo de combustibles CI/año	Consumo en
204 – GASÓLEO NO-AUTOMOCIÓN	1.371
301 – GAS NATURAL (exc. Gas natural líquido)	1.371,89

Tabla 4. Consumo combustible central Cas Tresorer. Fte: <http://www.prtr-es.es>

### 3.1.3 Central de Son Reus.

La central de Son Reus es una central de ciclo combinado situado en el municipio de palma (Mallorca). El combustible utilizado es el gas natural y gasoil. Consta de dos ciclos combinados Son Reus I y Son Reus II, también cuenta con cuatro turbinas de gas en ciclo abierto. La potencia total instalada es de 611 MW.

Resumen	
<b>Cod. Centro:</b>	136
<b>Nombre del complejo:</b>	C.T.C.C. SON REUS
<b>Empresa Matriz:</b>	GAS Y ELECTRICIDAD GENERACIÓN
<b>Dirección:</b>	SON REUS
<b>Numero de vía:</b>	S/N
<b>Código postal:</b>	07120
<b>Población:</b>	PALMA
<b>Municipio:</b>	Palma
<b>Provincia:</b>	Balears (Illes)
<b>Demarcación hidrográfica:</b>	Baleares
<b>Longitud:</b>	2,680348
<b>Latitud:</b>	39,648724
<b>CNAE-2009:</b>	35.16 - Producción de energía eléctrica de origen térmico convencional
<b>Actividad económica principal:</b>	Generación eléctrica

Tabla 5. Resumen central Son Reus. Fte: <http://www.prtr-es.es>

Consumo de combustibles CI/año	Consumo en
204 – GASÓLEO NO-AUTOMOCIÓN	376.540,83
301 – GAS NATURAL (exc. Gas natural líquido)	57.089.598

Tabla 6. Consumo combustible central Son Reus. Fte: <http://www.prtr-es.es>

### 3.1.4 Central de Mahón.

La central de Mahón es una central térmica convencional situada al este de Menorca. Cuenta con cinco turbinas de gas que utilizan gasóleo como combustible y con tres grupos diesel que utilizan fuelóleo como combustible principal y gasóleo como combustible de apoyo. La potencia total instalada es de 275 MW.

Resumen	
<b>Cod. Centro:</b>	138
<b>Nombre del complejo:</b>	C.D.E MAÓ
<b>Empresa Matriz:</b>	GAS Y ELECTRICIDAD GENERACIÓN
<b>Dirección:</b>	COS NOU
<b>Numero de vía:</b>	S/N
<b>Código postal:</b>	07703
<b>Población:</b>	MAÓ
<b>Municipio:</b>	Maó
<b>Provincia:</b>	Balears (Illes)
<b>Demarcación hidrográfica:</b>	Baleares
<b>Longitud:</b>	4,259713
<b>Latitud:</b>	39,896436
<b>CNAE-2009:</b>	35.16 - Producción de energía eléctrica de origen térmico convencional
<b>Actividad económica principal:</b>	Generación eléctrica

Tabla 7. Resumen central Mahón. Fte: <http://www.prtr-es.es>

Consumo de combustibles CI/año	Consumo en
203 – FUELÓLEO	53.698,25
204 – GASÓLEO NO-AUTOMOCIÓN	1.916.848,33

Tabla 8. Consumo combustible central de Mahón Fte: <http://www.prtr-es.es>

### **3.2 Interconexión Península Ibérica-Mallorca.**

Otra fuente de aportación de energía al sistema es la interconexión de la Península con la red de Mallorca. El enlace eléctrico entre la Península Ibérica y las islas Baleares se conoce como proyecto Rómulo y es la primera interconexión submarina de transporte en corriente continua que existe en España.

El Sistema Eléctrico Balear está compuesto por dos subsistemas aislados, la red de Mallorca-Menorca y la de Ibiza y Formentera, lo cual supone que los índices de calidad y estabilidad del sistema sean menores que en sistemas más grandes interconectados, como la Península Ibérica que a su vez está interconectado con Europa.

Debido a ello Red Eléctrica Española llevó a cabo la ejecución de dicho proyecto de interconexión, asegurando una mayor fiabilidad y asegurar la cobertura de la demanda del sistema eléctrico balear.

El trazado elegido para dicho proyecto es la subestación de Morvedre, en Sagunto (Valencia), con la subestación de Santa Ponsa, en Calviá (Mallorca).

Se trata de una conexión submarina de alta tensión de  $\pm 250$  KV realizada mediante un enlace compuesto por dos cables de potencia con una capacidad total de 400 MW y un cable de retorno para aumentar la disponibilidad del suministro eléctrico.

Esta interconexión tiene una longitud aproximada de 237 Km, a una profundidad máxima de 1485 m.

Debido a la gran distancia de interconexión, el enlace se ha hecho con corriente continua lo que hace que las pérdidas por la línea sean inferiores, y así poder aumentar la potencia frente a otro cable de corriente alterna.

#### Datos generales del proyecto:

- Sistema de corriente: Continua (HVDC)
- Tensión nominal:  $\pm 250$  KV
- Capacidad de transporte: 400 MW (2 X 200 MW)
- Nº de circuitos: enlace bipolar con retorno metálico
- Nº de cables eléctricos: 2 cables de potencia y uno de retorno
- Cables de fibra óptica: 1 cable de 24 fibras
- Longitud total de la conexión: 244 km
- Tramo subterráneo: 4 km (Morvedre)
- Tramo submarino: 237 km
- Tramo subterráneo: 3 km (Santa Ponsa)



#### Estaciones Conversoras:

Se han construido dos estaciones conversoras, una a cada lado de la interconexión, para convertir la corriente alterna muy común en todas las redes eléctricas, en corriente continua, la cual circula por el cable submarino.

Una de las estaciones está ubicada en la estación Santa Ponsa (Mallorca) y es de 220 KV, mientras que en el lado peninsular se ha construido en la estación Morvedre (Valencia), la cual tiene una tensión de 400 KV.

Estas estaciones son de las pocas que existen en Europa y las primeras en construirse en España. Ambas disponen de elementos de potencia de conversión de última potencia capaz de reducir las pérdidas de energía en el proceso de conversión. Además estas estaciones disponen de unos aparatos para poder supervisar los parámetros eléctricos, con el fin de poder garantizar la fiabilidad y seguridad.

#### Actuaciones ambientales:

Durante la realización de dicho proyecto se ha buscado el máximo respeto al medio ambiente. El trazado de la interconexión evita yacimientos arqueológicos y granjas de piscicultura, minimizar el impacto a la flora y fauna protegida y posibles afecciones sobre el sector turístico y pesquero.

Uno de los elementos de mayor valor ambiental que se ha analizado en el proyecto han sido las praderas de Posidonia en la bahía de Santa Ponsa, una especie protegida a nivel europeo. Este hecho ha dado lugar a unas grandes precauciones durante el trazado del cable a distancias inferiores a 60 m, por lo que se ha abierto una zanja, con el fin de garantizar la conservación de la especie.

Además, también se ha intentado respetar el medio ambiente mediante la construcción de las estaciones conversoras, utilizando materiales y soluciones constructivas que minimizan el impacto visual de las instalaciones y equipos en el entorno donde se ubica su emplazamiento.

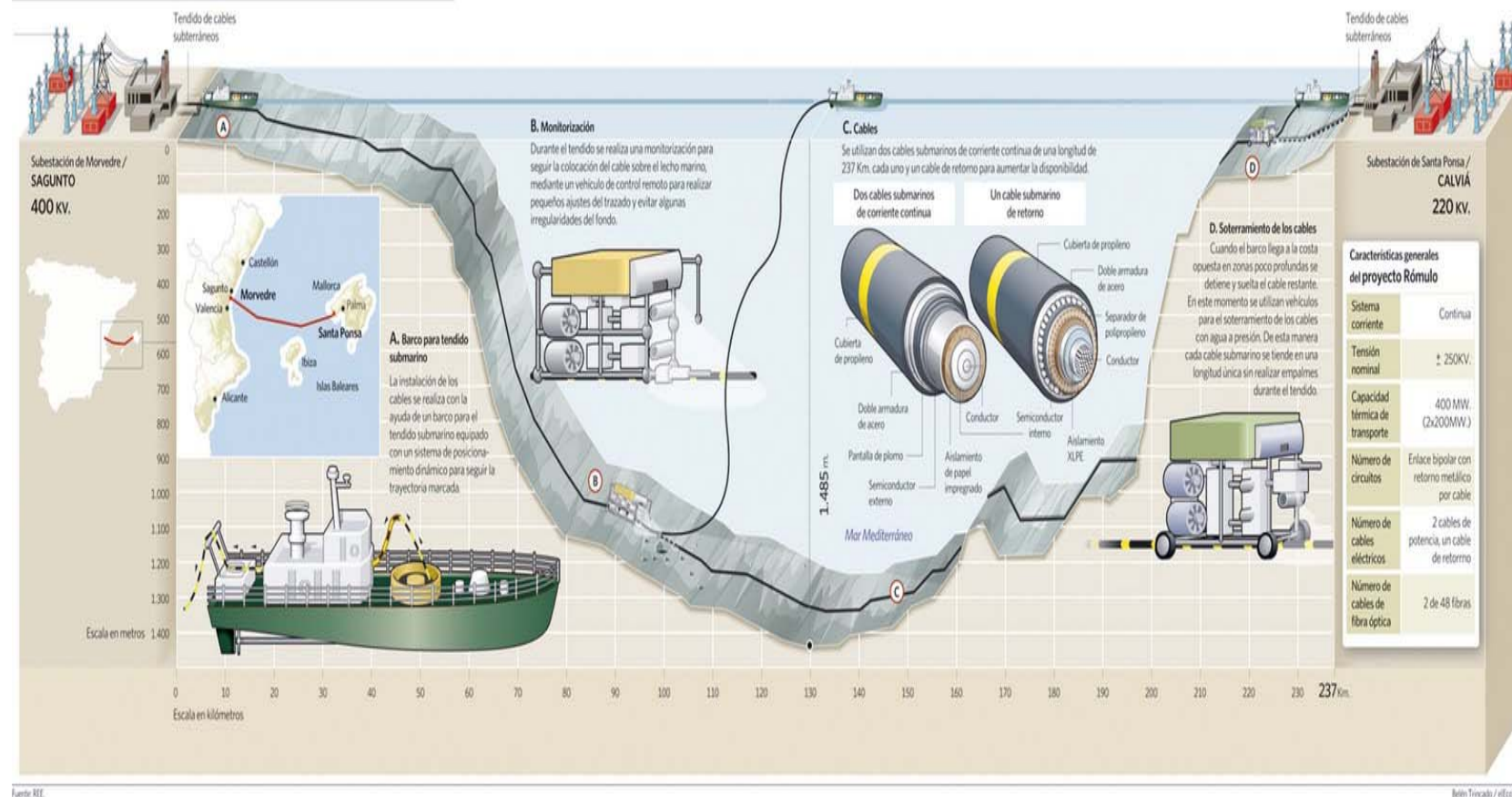
*Esta conexión representa la mayor inversión realizada por Red Eléctrica Española, en un único proyecto y su desarrollo ha constituido un hito de referencia mundial por su singularidad y complejidad técnica<sup>4</sup>.*

---

<sup>4</sup> ( Red Electrica de España (REE))

## Interconexión eléctrica Península-Baleares

Red Eléctrica de España es la empresa responsable de la realización del enlace eléctrico submarino, previsto para finales del 2010.



Fuente: REE.

Betón Troncal / eEconomista

Figura 8. Proyecto Rómulo. Fte: <http://www.belentrincado.blogspot>.

### 3.4 Parque eólico.

Otro generador que encontramos en la red de Mallorca-Menorca es el parque eólico, objetivo de estudio para este proyecto.

El sitio escogido para la instalación de dicho parque es en las afueras del municipio de Artá, situado al noroeste de Mallorca, y perteneciente a la comarca de Llevant. Las coordenadas de dicho municipio son: Latitud (39°41'32''N), Longitud (3°20'57''E).



Figura 9. Mapa municipio Artá Fte: <http://www.porta-mallorquina.es>

La elección de este emplazamiento se debe a que es una zona donde el viento aparece con bastante frecuencia y es bastante regular, ya que esta cercano a la costa, requisitos importantes para la construcción de un parque eólico.

En la siguiente tabla muestro la frecuencia, velocidad, dirección y constantes de Weibull para este terreno.

Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
N	9,75	8	16,44	8	2
NNE	11,85	7	16,42	8	2
NE	8,72	6	7,15	7	2
ENE	6,06	5	3,98	6	2
E	5,8	5	3,87	6	2,07
ESE	5,49	5	2,94	6	2
SE	4,64	5	2,04	6	2
SSE	4,3	5	1,47	5	2
S	4,09	5	1,75	5	2
SSW	5,05	6	3,1	6	2
SW	6,16	7	7,72	8	2,16
WSW	7,29	7	10,77	8	2
W	4,81	6	4,63	7	2
WNW	5,24	7	6,34	8	2,19
NW	5,59	6	6,16	7,37	2
NNW	5,16	6	5,22	7	2

Tabla 9. Distribución de viento Artá. Fte: <http://www.atlaseolico.idae.es>

Como se puede observar la velocidad se encuentra entre 5 y 8 m/s, es decir entre 18 y 28,8 km/h, donde se puede ver que la mayor parte de la frecuencia viene dado a velocidades de 7 y 8 m/s.

La siguiente figura muestra el gráfico de la rosa de los vientos, donde puede observarse dónde se encuentra el viento predominante, el % de la energía eólica total (Azul) y tiempo (Gris).

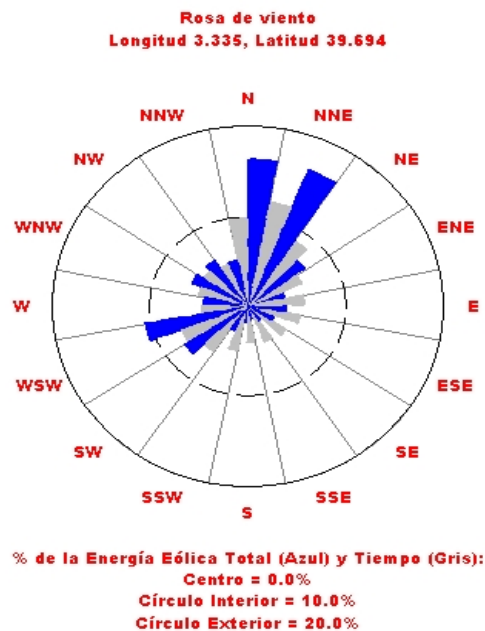


Figura 10. Rosa de los vientos Artá. Fte: <http://www.atlaeolico.idae.es>

Vemos que el viento predominante está en N, NNE, que corresponde a una velocidad de viento de 7 y 8 m/s

### 3.5 Modelado del sistema eléctrico con PSSE

La realización del proyecto se va a llevar a cabo mediante la utilización del programa PSS/E (Power System Simulator for Engineering). Este programa se encarga de simular, analizar y optimizar sistemas eléctricos.

El programa consta de varias ventanas de trabajo, las dos principales son el diagrama en el cual vamos a trabajar y los datos de la red.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Owner	Owner Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)	Emergency Vmax (pu)	Emergency Vmin (pu)
1	SON REUS	220.0	1		1		1		3	1.0000	0.00	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
2	SANTA PONSA	220.0	1		1		1		1	0.9960	0.64	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
3	MENORCA	20.0	1		1		1		2	1.0000	0.48	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
4	VALLDURGENT	220.0	1		1		1		1	0.9933	-0.52	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
5	SON REUS	220.0	1		1		1		1	0.9948	-0.88	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
6	SON ORLANS	220.0	1		1		1		1	0.9949	-1.08	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
7	LLUVÍ	220.0	1		1		1		1	0.9936	-0.81	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
8	ALCUDIA	220.0	1		1		1		1	0.9943	-0.34	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
9	ES BESSONS	220.0	1		1		1		1	0.9915	-1.16	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
10		66.0	1		1		1		1	0.9870	-2.99	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
11		66.0	1		1		1		1	0.9871	-3.19	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
12	LLUCMAJOR	66.0	1		1		1		1	0.9869	-3.30	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
13		66.0	1		1		1		1	0.9855	-3.25	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
14		132.0	1		1		1		1	0.9918	-0.85	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
15	CALA MESQUID	132.0	1		1		1		1	0.9952	-0.99	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
20	ALCUDIA	20.0	1		1		1		2	1.0000	2.43	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
101	SANTA PONSA	20.0	1		1		1		2	1.0000	3.51	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
201	CAS TESORER	20.0	1		1		1		2	1.0000	-0.39	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
401	MANACOR	66.0	1		1		1		1	0.9906	-0.51	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
501	MANACOR	66.0	1		1		1		1	0.9939	0.80	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000
601	ARTA	66.0	1		1		1		1	1.0006	4.16	1.1000	0.9000	1.1000	0.9000

Figura 11. Datos de Red

Como se puede observar en la figura, el programa consta de varias pestañas en la parte inferior, referentes a los datos de los parámetros eléctricos de la red.

- **Bus (Nudos):** Esta pestaña hace referencia a los nudos que componen el sistema. Los nudos representan las subestaciones de la red, ya sean subestaciones de transformación como subestaciones de interconexión de líneas. En este programa podemos numerar y nombrar los nudos para facilitar la comprensión. Podemos encontrar los parámetros eléctricos como la tensión base, las tensiones por unidad (pu), y el ángulo, además de otros muchos parámetros. Asimismo, se deberá definir el tipo de nudo que es ( nudo de carga PQ, Nudos de generación PV y nudo oscilante)
- **Machine (Generadores):** Los generadores son las fuentes de alimentación de la red. Para poder modelar el sistema se debe dar una serie de parámetros como la impedancia del generador, las potencias activas y reactivas máximas y mínimas de funcionamiento (límites de funcionamiento) etc.  
Como se observará más adelante, la potencia real de cada generador se obtendrá a partir del programa según las necesidades de la red.
- **Load (Cargas):** Las cargas representan la demanda de potencia que tengamos en el sistema, por lo que deberemos establecer una potencia activa y reactiva.
- **Branch (líneas eléctricas):** Las líneas eléctricas son la conexión de los diferentes nudos del sistema, por donde circula la corriente eléctrica. Los parámetros fundamentales para las líneas son la resistencia, reactancia y capacidad. Además, se podrá parametrizar el límite de potencia que puede circular por la línea.
- **2 winding (transformadores):** Los transformadores se encargan de elevar o disminuir el nivel de tensión que sale de él. En el programa los transformadores se encuentran entre dos nudos de diferente tensión. Deberemos incluir datos como la resistencia y reactancia en serie. Además el programa nos da la opción de elegir las tomas del transformador para poder controlar la tensión de salida del nudo.

### 3.5.1 Flujo de cargas

Una vez se hayan incluido todos los parámetros de la red, el programa da la opción de hacer la simulación. Esto se puede realizar mediante la opción de flujo de cargas (Power Flow), para ellos se deberá buscar en la pestaña de arriba denominada Power Flow → solution → solve.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Owner	Owner Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)	Emergency Vmax (pu)	Emergency Vmin (pu)
1	SON REUS	20,0	1		1		1		3	1,0000	0,00	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
2	SANTA PONSÀ	220,0	1		1		1		1	0,9960	0,64	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
3	MENORCA	20,0	1		1		1		2	1,0000	0,48	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
4	VALLDURGENT	220,0	1		1		1		1	0,9933	-0,52	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
5	SON REUS	220,0	1		1		1		1	0,9948	-0,88	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
6	SON ORLANS	220,0	1		1		1		1	0,9949	-1,08	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
7	LLUVI	220,0	1		1		1		1	0,9936	-0,81	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
8	ALCUDIA	220,0	1		1		1		1	0,9943	-0,34	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
9	ES BESSONS	220,0	1		1		1		1	0,9915	-1,16	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
10		66,0	1		1		1		1	0,9870	-2,99	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
11		66,0	1		1		1		1	0,9871	-3,19	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
12	LLUCMAJOR	66,0	1		1		1		1	0,9869	-3,30	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
13		66,0	1		1		1		1	0,9855	-3,25	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
14		132,0	1		1		1		1	0,9918	-0,85	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
15	CALA MESQUID	132,0	1		1		1		1	0,9952	-0,99	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
20	ALCUDIA	20,0	1		1		1		2	1,0000	2,43	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
101	SANTA PONSÀ	20,0	1		1		1		2	1,0000	3,51	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
201	CAS TESORER	20,0	1		1		1		2	1,0000	-0,39	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
401	MANACOR	66,0	1		1		1		1	0,9906	-0,51	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
501	MANACOR	66,0	1		1		1		1	0,9939	0,80	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
601	ARTA	66,0	1		1		1		1	1,0006	4,16	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
701	EOLICA	20,0	1		1		1		2	1,0000	4,30	1,1000	0,9000	1,1000	0,9000
*															

Figura 12. Datos de red después del flujo de carga



Es importante que se mantengan las restricciones técnicas:

- Nudos: los nudos no podrán sobrepasar el  $\pm 5\%$ , es decir deberá estar entre (0,95 – 1,05 pu).
- A partir del 100% de potencia la línea empezará a trabajar en sobrecarga, dando lugar a posibles incidencias como un posible cortocircuito. Éste es debido a que el calentamiento de la línea produce que la flecha máxima disminuya y pueda tocar con algún objeto.

Durante la realización del proyecto no se podrá sobrepasar ningún límite de funcionamiento, ya que si no el sistema no sería estable.

### 3.5.2 Generación del informe.

Una vez realizado el flujo de carga podemos sacar los datos del sistema mediante una opción de reportes. Powe Flow → Reports → Bus based reports.

Esta opción muestra los datos de los flujos de carga por las líneas

- Tensiones base
- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Potencia aparente
- Pérdidas por la línea

Estos datos son de gran relevancia tanto para este proyecto como para las empresas que deseen conocer el estado del sistema.

Como podemos observar en los datos que muestro a continuación, se muestra los nudos de inicio y fin de cada línea, dándonos los datos de cada uno de ellos. Como se puede observar hay potencias positivas y otras potencias que son negativas, esto muestra el sentido de circulación de la corriente. Por ejemplo, en el nudo 4 tenemos conexiones con el nudo 2, 5 y 10.

Del nudo 4 al 2 la potencia activa es de -199,7 MW y una potencia reactiva de -8,7 MVar, lo que significa que el sentido de flujo de potencia irá desde el nudo 2 al 4.

Del nudo 4 al 5 tenemos una potencia activa de 40,9 MW y una potencia reactiva de -18 MVar, por lo que la potencia activa tendrá un flujo de 4 a 5 y la potencia reactiva de 5 a 4.

Del nudo 4 al 10 tendremos una potencia activa de 158,8 MW y una potencia reactiva de 26,7 MVar, lo cual nos muestra que ambas potencias siguen un sentido positivo de 4 a 10.

Los datos también nos indican el valor de la potencia aparente, pero esta siempre va a ser positiva ya que la potencia aparente se define como la suma de los cuadrados de la potencia activa y reactiva:

$$S^2 = P^2 + Q^2 \rightarrow S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$



## Evaluación impacto económico de un parque eólico en el sistema eléctrico balear

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E UNIVERSIMON, SEP 01 2014										17:05										
RED DE MALLORCA										RATING										
PROYECTO FIN DE GRADO IVÁN DE IRIARTE										% MVA FOR TRANSFORMERS										
										SET A % I FOR NON-TRANSFORMER BRANCHES										
BUS	1	SON REUS	20.000	CKT	MW	MVAR	MVA	%	1.0000PU	0.00	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	1
FROM	GENERATION				131.2	45.2R	138.8	23	20.000KV			MW	MVAR	1			1			
TO	5	SON REUS	220.00	1	131.2	45.2	138.8		1.0000LK			0.00	2.25	1			1			
BUS	2	SANTA PONSA	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9960PU	0.64	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	2
									219.11KV			MW	MVAR	1			1			
TO	4	VALLDURGENT	220.00	1	200.0	11.1	200.3					0.33	4.05	1			1			
TO	101	SANTA PONSA	20.000	1	-200.0	-11.1	200.3		1.0000LK			0.00	10.11	1			1			
BUS	3	MENORCA	20.000	CKT	MW	MVAR	MVA	%	1.0000PU	0.48	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	3
FROM	GENERATION				100.0	20.0R	102.0	37	20.000KV			MW	MVAR	1			1			
TO	15	CALA MESQUID	132.00	1	100.0	20.0	102.0		1.0000LK			0.00	2.65	1			1			
BUS	4	VALLDURGENT	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9933PU	-0.52	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	4
									218.53KV			MW	MVAR	1			1			
TO	2	SANTA PONSA	220.00	1	-199.7	-8.7	199.9					0.33	4.05	1			1			
TO	5	SON REUS	220.00	1	40.9	-18.0	44.6					0.04	0.29	1			1			
TO	10		66.000	1	158.8	26.7	161.0		1.0000LK			0.00	7.01	1			1			
BUS	5	SON REUS	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9948PU	-0.88	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	5
									218.86KV			MW	MVAR	1			1			
TO	1	SON REUS	20.000	1	-131.2	-43.0	138.1		1.0000UN			0.00	2.25	1			1			
TO	4	VALLDURGENT	220.00	1	-40.8	15.8	43.7					0.04	0.29	1			1			
TO	6	SON ORLANS	220.00	1	27.1	-5.9	27.8					0.01	0.09	1			1			
TO	7	LLUVÍ	220.00	1	-3.2	1.4	3.5					0.00	0.01	1			1			
TO	11		66.000	1	148.1	31.7	151.4		1.0000LK			0.00	6.18	1			1			
BUS	6	SON ORLANS	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9949PU	-1.08	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	6
									218.88KV			MW	MVAR	1			1			
TO	5	SON REUS	220.00	1	-27.1	3.9	27.4					0.01	0.09	1			1			
TO	7	LLUVÍ	220.00	1	-15.8	5.0	16.6					0.01	0.08	1			1			
TO	12	LLUCMAJOR	66.000	1	143.0	32.6	146.6		1.0000LK			0.00	5.79	1			1			
TO	201	CAS TESORER	20.000	1	-100.0	-41.5	108.3		1.0000LK			0.00	1.42	1			1			
BUS	7	LLUVÍ	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9936PU	-0.81	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	7
									218.59KV			MW	MVAR	1			1			
TO	5	SON REUS	220.00	1	3.2	-7.1	7.8					0.00	0.01	1			1			
TO	6	SON ORLANS	220.00	1	15.8	-9.6	18.5					0.01	0.08	1			1			
TO	8	ALCUDIA	220.00	1	-49.9	2.1	50.0					0.06	0.41	1			1			
TO	8	ALCUDIA	220.00	2	-49.9	2.1	50.0					0.06	0.41	1			1			
TO	9	ES BESSONS	220.00	1	40.4	6.3	40.9					0.04	0.26	1			1			
TO	9	ES BESSONS	220.00	2	40.4	6.3	40.9					0.04	0.26	1			1			

BUS	8	ALCUDIA	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9943PU	-0.34	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	8
									218.75KV			MW	MVAR	1			1			
TO	LOAD-PQ				250.0	41.7	253.4													
TO	7 LLUVÍ	220.00	1		50.0	-4.4	50.2					0.06	0.41	1			1			
TO	7 LLUVÍ	220.00	2		50.0	-4.4	50.2					0.06	0.41	1			1			
TO	20 ALCUDIA	20.000	1		-350.0	-32.8	351.5		1.0000UN			0.00	17.16	1			1			
BUS	9	ES BESSONS	220.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9915PU	-1.16	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	9
									218.12KV			MW	MVAR	1			1			
TO	7 LLUVÍ	220.00	1		-40.4	-8.7	41.3					0.04	0.26	1			1			
TO	7 LLUVÍ	220.00	2		-40.4	-8.7	41.3					0.04	0.26	1			1			
TO	13	66.000	1		100.2	18.4	101.8		1.0000LK			0.00	3.75	1			1			
TO	14	132.00	1		-19.4	-1.0	19.5		1.0000LK			0.00	0.10	1			1			
BUS	10		66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9870PU	-2.99	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	10
									65.145KV			MW	MVAR	1			1			
TO	LOAD-PQ				150.0	25.0	152.1													
TO	4 VALLDURGENT	220.00	1		-158.8	-19.7	160.0		1.0000UN			0.00	7.01	1			1			
TO	11	66.000	1		6.3	-3.9	7.4					0.01	0.02	1			1			
TO	12 LLUCMAJOR	66.000	1		2.5	-1.4	2.9					0.01	0.01	1			1			
BUS	11		66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9871PU	-3.19	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	11
									65.152KV			MW	MVAR	1			1			
TO	LOAD-PQ				150.0	25.0	152.1													
TO	5 SON REUS	220.00	1		-148.1	-25.5	150.3		1.0000UN			0.00	6.18	1			1			
TO	10	66.000	1		-6.3	2.6	6.8					0.01	0.02	1			1			
TO	12 LLUCMAJOR	66.000	1		4.4	-2.1	4.9					0.00	0.01	1			1			
BUS	12	LLUCMAJOR	66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9869PU	-3.30	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	12
									65.138KV			MW	MVAR	1			1			
TO	LOAD-PQ				150.0	25.0	152.1													
TO	6 SON ORLANS	220.00	1		-143.0	-26.8	145.4		1.0000UN			0.00	5.79	1			1			
TO	10	66.000	1		-2.5	0.9	2.6					0.01	0.01	1			1			
TO	11	66.000	1		-4.4	1.0	4.5					0.00	0.01	1			1			
TO	13	66.000	1		-0.2	-0.0	0.2					0.00	0.00	1			1			
BUS	13		66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9855PU	-3.25	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	13
									65.044KV			MW	MVAR	1			1			
TO	LOAD-PQ				100.0	16.7	101.4													
TO	9 ES BESSONS	220.00	1		-100.2	-14.6	101.2		1.0000UN			0.00	3.75	1			1			
TO	12 LLUCMAJOR	66.000	1		0.2	-2.0	2.0					0.00	0.00	1			1			
BUS	14		132.00	CKT	MW	MVAR	MVA	%	0.9918PU	-0.85	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X	14
									130.91KV			MW	MVAR	1			1			
TO	9 ES BESSONS	220.00	1		19.4	1.1	19.5		1.0000UN			0.00	0.10	1			1			

TO	15 CALA MESQUID	132.00	1	0.0	-5.1	5.1			0.01	0.01	1		1				
TO	401 MANACOR	66.000	1	-19.4	3.9	19.8	1.0000LK		0.00	0.12	1		1				
BUS	15 CALA MESQUID	132.00	CKT	MW	MVAR	MVA	% 0.9952PU	-0.99	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
							131.37KV			MW	MVAR	1			1		
TO	LOAD-PQ			100.0	16.7	101.4											
TO	3 MENORCA	20.000	1	-100.0	-17.3	101.5	1.0000UN		0.00	2.65	1		1				
TO	14	132.00	1	0.0	0.6	0.6			0.01	0.01	1		1				
BUS	20 ALCUDIA	20.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 1.0000PU	2.43	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
FROM	GENERATION			350.0	50.0R	353.5	69 20.000KV			MW	MVAR	1		1			
TO	8 ALCUDIA	220.00	1	350.0	50.0	353.5	1.0000LK		0.00	17.16	1		1				
BUS	101 SANTA PONS	20.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 1.0000PU	3.51	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
FROM	GENERATION			200.0	21.2R	201.1	201 20.000KV			MW	MVAR	1		1			
TO	2 SANTA PONS	220.00	1	200.0	21.2	201.1	1.0000UN		0.00	10.11	1		1				
BUS	201 CAS TESORER	20.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 1.0000PU	-0.39	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
FROM	GENERATION			100.0	42.9R	108.8	109 20.000KV			MW	MVAR	1		1			
TO	6 SON ORLANS	220.00	1	100.0	42.9	108.8	1.0000UN		0.00	1.42	1		1				
BUS	401 MANACOR	66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 0.9906PU	-0.51	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
							65.378KV			MW	MVAR	1		1			
TO	14	132.00	1	19.4	-3.8	19.8	1.0000UN		0.00	0.12	1		1				
TO	501 MANACOR	66.000	1	-19.4	3.8	19.8			0.16	0.44	1		1				
BUS	501 MANACOR	66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 0.9939PU	0.80	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
							65.597KV			MW	MVAR	1		1			
TO	401 MANACOR	66.000	1	19.6	-4.2	20.0			0.16	0.44	1		1				
TO	601 ARTA	66.000	1	-19.6	4.2	20.0			0.40	1.13	1		1				
BUS	601 ARTA	66.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 1.0006PU	4.16	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
							66.040KV			MW	MVAR	1		1			
TO	501 MANACOR	66.000	1	20.0	-5.0	20.6			0.40	1.13	1		1				
TO	701 EOLICA	20.000	1	-20.0	5.0	20.6	1.0000LK		0.00	0.05	1		1				
BUS	701 EOLICA	20.000	CKT	MW	MVAR	MVA	% 1.0000PU	4.30	X---	LOSSES	---X	X----	AREA	-----X	X----	ZONE	-----X
FROM	GENERATION			20.0	-5.0R	20.6	21 20.000KV			MW	MVAR	1		1			

### 3.5.3 Despacho económico (OPF).

El despacho económico es muy importante a la hora de trabajar con un sistema con generadores de diferentes curvas de coste, ya que según el precio (Coste marginal) de cada uno de ellos producirá más o menos potencia. Se define la curva de costes de una central como:

$$F_i = \frac{a_i}{2} P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i \text{ (R/h)}$$

Donde se encuentran unos costes en función de la potencia que corresponden a los costes variables y un término independiente, que corresponde con el coste fijo. Esta función corresponde a los costes totales de una central.

Pero para saber el coste marginal (lo que cuesta producir 1 MW más de potencia), es decir el precio de cada central, deberemos hacer la derivada de la función de costes totales:

$$\lambda = \frac{\partial F_i}{\partial P_{gi}} = a_i P_{gi} + b_i \text{ (R/MWh)}$$

En el caso de que tuviésemos dos centrales, una con mayor coste marginal y la otra con menor coste marginal, produciría más potencia la de menor coste marginal, es decir, la central con el precio más bajo.

Para poder modelarlo con PSS/E se deberá ir a la pestaña de OPF → Data tables → Polynomial and exponential cost tables.

Table	Label	Cost integration	Linear Cost Coefficient	Quadratic Cost Coefficient	Exponential Cost Coefficient	Exponent Coefficient
1		0.000	70.000	0.750	0.000	0.000
2		0.000	40.000	0.450	0.000	0.000
3		0.000	41.700	0.411	0.000	0.000
4		0.000	48.000	0.000	0.000	0.000
5		0.000	77.000	0.705	0.000	0.000
6		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Figura 13. Despacho económico

Como se puede observar en la imagen, aparecen las curvas de costes de las 4 centrales, la interconexión con la península y el parque eólico que tendrá un coste cero.

En las curvas de costes solo se consideran los costes variables, ya que los costes fijos no se tienen en cuenta, debido a que como se ha visto antes no aparecen en la función de coste marginal.

Aquí se muestra un gráfico con las diferentes curvas de coste de cada central, tanto el total como el marginal:

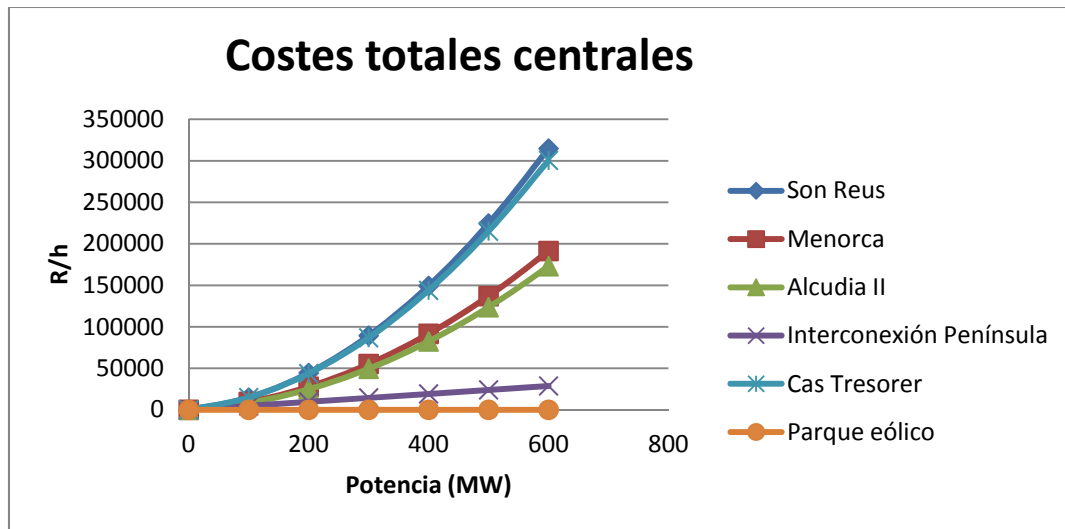


Figura 14. Curva costes totales

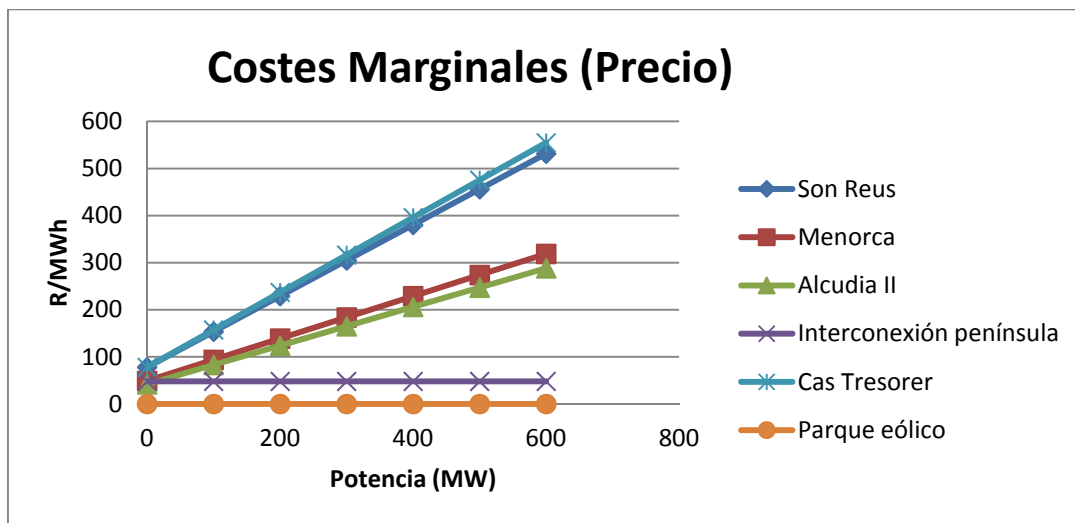


Figura 15. Curva de costes marginales

En la función de costes totales, se puede observar que las cuatro centrales siguen una función cuadrática, mientras que la interconexión con la península sigue una función lineal (variará según el día y la hora del año). En la gráfica de costes marginales podemos observar que las gráficas de las centrales de Menorca (Mahón) y de Alcudia II tienen menor pendiente, es decir, su precio será menor. Esto es debido a que el precio del combustible que usan es menor al que utilizan las de ciclo combinado (Gas Natural). La interconexión con la Península es constante y tiene menor precio, y el parque eólico tendrá un precio cero (En la realidad tendría costes fijos en la función, pero como al calcular los costes marginales tendrán precio 0 no se toma en cuenta).

A priori podríamos saber lo que va a producir cada una viendo este gráfico (Figura 14).

Primero produciría el parque eólico, ya que tiene precio cero (En el proyecto siempre va a producir un 100% de la potencia nominal que tenga en cada momento), después produciría la interconexión con la Península, luego las dos centrales convencionales, primero la de Alcudia II y después la de Mahón, y por último producirían las de ciclo combinado, Son Reus y luego Cas Tresorer. Pero esto depende de la demanda que tengamos en cada momento, ya que si hay mucha demanda producirían todas las centrales, pero si la demanda es baja no producirán las centrales de ciclo combinado, ya que con el despacho económico se busca minimizar el coste total del sistema.

Una vez puesto todos los valores de las curvas en OPF, se podrá sacar un informe con los datos de producción de cada central, así como el coste total del sistema. OPF → Solve → Go

Matrix Size	Problem	Size
CM Rows:	44	Angles
CM Columns:	68	Voltages
Jacobian elements:	356	Xformers
KTM elements:	598	MW gens
		MV gens
		Bus Shunts
		Sw. Shunts
		Load Shed
		Flows
		Interfaces
		S. Compen.
		R-cap.
		Res. Units
		Reserves
		Area Int.
		Lin. Dep.
		Segments

All data appears to be okay

Optimal Solution Found.

Minimum fuel cost objective: 81291.890625

Elapsed time: 0 minutes, 0.03125 seconds.

Bounded, Infeasible and Opened Voltage Magnitudes:

Bus #	Name	kV	V-old	V-change	V-new	Vmin	Vmax	Sensitivity Violation
101	SANTA PONSA	20.000	1.0500	-.7100E-07	1.0500	0.9500	1.0500	-436.0
601	ARTA	66.000	1.0500	-.7816E-07	1.0500	0.9500	1.0500	-1276.

## Bounded and Infeasible Reactive Generation:

Bus #	Name	kV	ID	Variable Description	Sensitivity Violation
-------	------	----	----	----------------------	-----------------------

None ...

## Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	4565.00	43.90	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	43.899	1.000
2	Poly	9033.47	103.43	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	103.426	1.000
3	Poly	10587.97	117.60	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	117.600	1.000
4	Poly	52530.13	389.11	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	389.112	1.000
5	Poly	4575.33	42.47	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	42.467	1.000
6	Poly	0.00	50.00	0.00	50.00	701	EOLICA	20.000	1	50.000	1.000
		=====	=====	=====	=====						
Totals:		81291.89	746.50	0.00	2003.00						

## Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus #	Name	kV	Area Zone	MW Mvar	Pmin Qmin	Pmax Qmax	Pchange Qchange	Lambda	Voltage Vchange	Vmin Vmax	V-Sens Q-Sens
1	SON REUS	20.000	1	43.90		300.00	-0.044	-1.4E+04	1.0435	0.9500	
			1	56.41	-320.00	320.00	-2.716	-0.000	-0.0013	1.0500	-0.0000
3	MENORCA	20.000	1	103.43		275.00	-0.131	-1.3E+04	1.0468	0.9500	
			1	14.10	-150.00	150.00	0.294	-0.000	-0.0020	1.0500	-0.0000
20	ALCUDIA	20.000	1	117.60		510.00	-0.156	-1.4E+04	1.0366	0.9500	
			1	38.25	-270.00	270.00	2.270	-0.000		1.0500	-0.0000
101	SANTA PONSA	20.000	1	389.11		400.00	-8.688	-1.4E+04	1.0500 U	0.9500	-436.0418
			1	47.50	-300.00	300.00	1.362	-0.000		1.0500	-0.0000



201 CAS TESORER	20.000	1	42.47		468.00	-0.060	-1.4E+04	1.0375	0.9500	
		1	21.60	-300.00	300.00	0.501	-0.000		1.0500	-0.0000
701 EOLICA	20.000	1	50.00		50.00	10.000	-1.2E+04	1.0492 U	0.9500	-0.3061
		1	-6.96	-20.00	20.00	-0.757	0.001		1.0500	0.0011

## Summary Table for Tap Changing Transformers:

From Bus To Bus	kV kV	Area Area	Zone Zone	Voltage Voltage	Ratio Change	Minimum Maximum	MW Flow MV Flow	Sensitivity Tap	Volt
4 VALLDURGENT	220.00	1	1	1.03910	1.00000 F	0.90000	170.155	53.28384	
10	66.000	1	1	1.03518		1.10000	18.859		
5 SON REUS	220.00	1	1	1.03724	1.00000 F	0.90000	108.747	-27.53386	
11	66.000	1	1	1.03101		1.10000	25.704		
6 SON ORLANS	220.00	1	1	1.03497	1.00000 F	0.90000	98.000	-55.39947	
12 LLUCMAJOR	66.000	1	1	1.02869		1.10000	25.568		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03041	1.00000 F	0.90000	75.770	72.99340	
13	66.000	1	1	1.02539		1.10000	15.501		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03041	1.00000 F	0.90000	-67.755	-392.86959	
14	132.00	1	1	1.02730		1.10000	12.610		
2 SANTA PONS	220.00	1	1	1.04281	1.00000 F	0.90000	-389.112	-447.98049	
101 SANTA PONS	20.000	1	1	1.05000u		1.10000	-12.656		-436.04180
14	132.00	1	1	1.02730	1.00000 F	0.90000	-46.882	-478.53462	
401 MANACOR	66.000	1	1	1.02341		1.10000	13.622		

===== END OF REPORT =====

Como se puede ver en el informe, se cumple lo dicho anteriormente:

Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW	Output
1	Poly	4565.00	43.90	Central Son Reus
2	Poly	9033.47	103.43	Menorca (Mahón)
3	Poly	10587.97	117.60	Central Alcudia II
4	Poly	52530.13	389.11	Interconexión Península
5	Poly	4575.33	42.47	Cas Tresorer
6	Poly	0.00	50.00	Parque eólico
=====				
Totals:		81291.89	746.50	

El parque eólico produce el máximo de su capacidad (50 MW), la interconexión con la Península produce 389 MW, después las dos centrales convencionales, primero la de Alcudia II con 117,6 MW y luego la de Mahón que produce 103, 43 MW, y por último las dos centrales de ciclo combinado, primero la de Son Reus y luego la de Cas Tresorer.

Además, también aparece el precio del combustible de cada central, y el coste total del sistema que más tarde utilizaremos para la realización del proyecto.

### 3.6 Lenguaje de programación Python

El lenguaje de programación Python, es un lenguaje multiparadigma, es decir que permite varios estilos: programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional.

Este lenguaje de programación se puede utilizar con el programa PSS/E, ya que permite mediante un código sencillo la programar acciones de forma automática que facilita el trabajo y ahorra tiempo.

Para programar acciones en Python, existe una opción dentro de PSS/E llamada Star Recording, que se representa con un icono de un círculo rojo. Al apretar ese botón comienza la grabación de todas las actividades realizadas en PSS/E, como cargar el caso de trabajo, realizar un flujo de cargas etc.

Una vez realizadas las distintas actividades que se desean automatizar se detiene la grabación. PSS/E guarda entonces la información un archivo “.py” de Python. Posteriormente es posible repetir la misma tarea cargando disco archivo desde PSS/E.

El archivo de Python que nos genera el programa se puede abrir para modificar la información guardada.

Este lenguaje de programación será una herramienta de trabajo fundamental en este proyecto ya que como veremos más adelante necesitaremos realizar muchos flujos de cargas que realizados uno a uno ocuparían un tiempo muy elevado.

## **4. MÉTODO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA**

#### 4. MÉTODO DE EVALUACIÓN ECONÓMICA.

En este punto se creará una herramienta o método de trabajo que permita poder calcular la evaluación económica del proyecto a partir de una tabla de costes.

Para la realización de la tabla de costes se parte de tres variables de entrada, el precio peninsular, demanda, y la producción eólica. Modelándolo en PSS/E nos dará un coste total del sistema.

Acudiremos a tres programas: PSS/E, Matlab y Python. Estos programas nos ayudarán tanto a la simulación de las diferentes combinaciones de datos como para agilizar los diferentes procesos para llegar a ella.

Para una mejor comprensión de los procesos, se mostrará un diagrama de flujo con todos los pasos para la realización de la tabla.

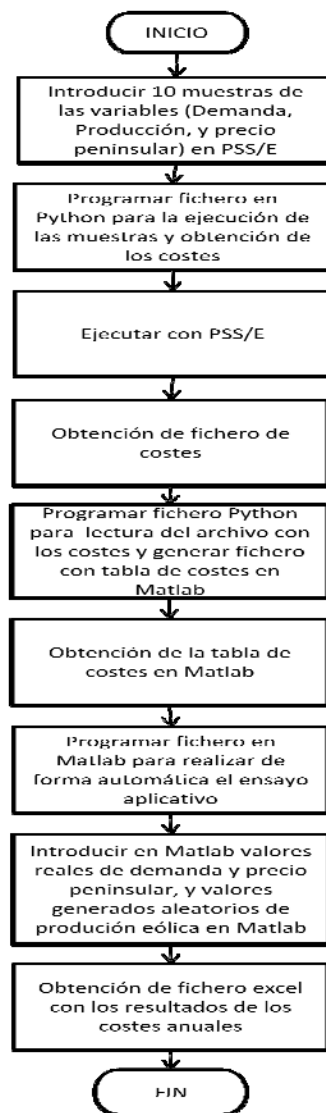


Figura 16. Diagrama de flujo

#### 4.1 Obtención del fichero de salida opf\_output.

La obtención de este fichero tiene mucha importancia, ya que mediante este fichero se sacará el valor de los diferentes costes para la realización de la tabla. Para ello se utilizará el programa PSS/E.

En la barra superior del programa se busca un icono con un punto rojo llamado Start Recording, se pulsa y empezará a grabar. Esta aplicación servirá para grabar todos los pasos que se hagan en un fichero “.py”.

- 1) Lo primero que hay que hacer una vez se esté grabando, es cargar el archivo con los datos de red que previamente se habían guardado con todos los parámetros eléctricos de la red “.sav” (`psspy.case(r"\"C:\Users\Ivan\Desktop\Proyecto\mallorca2.sav\"")`)
- 2) Después se carga la parte del despacho económico (OPF) con las curvas de costes de los diferentes puntos de generación “.rop”  
(`psspy.ropf(r"\"C:\Users\Ivan\Desktop\mallorca2(buena).rop\"")`)
- 3) A continuación habrá que meterse en OPF → Data tables → Polynomial and exponential cost tables y de ahí se deberá cambiar el valor de el precio Peninsular, en este caso se le dará en valor de 60 (`psspy.lines_per_page_one_device(1,60)`), este paso se realiza de esta manera porque el programa python necesita ver que se ha realizado un cambio para poder grabarlo posteriormente en el fichero “.py”
- 4) En el siguiente paso habrá que meterse en I/O Control → Direct Report Output (OPEN)... esto se hace para que al final del todo el PSS/E genere un archivo de texto con los datos de los ensayos realizados y del coste de cada uno de ellos.  
(`psspy.progress_output(2,r"\"opf_output.txt\"", [2,0])`)
- 5) Después se deberá ir a OPF → Parameters... → minimize fuel cost, gracias a esto el programa realizará el despacho económico, minimizando los costes de combustible, es decir, con este proceso las centrales de menor coste producirán más que las de mayor coste. (`psspy.minimize_fuel_cost(1)`).
- 6) Una vez hecho que el programa minimice los costes de combustible, PSS/E realizará los reportes del modelado del sistema. (`psspy.set_opf_report_subsystem(3,1)`)

Una vez realizados todos estos pasos se deberá parar de grabar, y el programa generará el archivo Python. Lo siguiente que se deberá hacer es dar una serie de valores a las variables, para que el programa genere el fichero de salida con los costes.

Se han escogido 10 valores de cada variable, lo que supondrá una tabla en tres dimensiones de  $10 \times 10 \times 10$ , es decir una tabla de 1000 valores de costes. Cuanto más grande fuese la tabla de costes más exacto sería luego el estudio, pero debido a limitaciones del programa, solo permite hacer 1000 valores, a partir de mas valores el programa se bloquearía.

Los datos escogidos para cada variable son los siguientes:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Demanda Mallorca	270	340	400	450	500	550	630	700	770	850
Producción eólica	1	5	10	15	20	25	30	35	40	50
Precio Peninsular	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135

Tabla 10. Valores de las variables.

A continuación se abre el fichero de python previamente guardado, y se deberá crear un código de programación que permita realizar todos los ensayos a partir de los datos de las variables.

Primero se definen las variables con sus respectivos valores:

- demand → Variable de la demanda
- Peninsular\_cost → Variable el precio de la Península
- Wind\_farm\_prods → Variable de la producción eólica

Y una vez definidas las variables, se procederá con la resolución de los diferentes ensayos de las variables, el código utilizado es el siguiente:

```
demands=(270,340,400,450,500,550,630,700,770,850)
# cost = a + b*p + c*p^2
peninsular_cost_bs=(0,15,30,45,60,75,90,105,120,135)
wind_farm_prods=(1,5,10,15,20,25,30,35,40,50)

for demand in demands:
    psspy.scal_2(0,1,1,[0,0,0,0,0],[0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0])
    psspy.scal_2(0,1,2,[_i,1,0,1,0],[ demand, demand,0.0,-.0,0.0,-.0, 150.0])
    for peninsular_cost_b in peninsular_cost_bs:
        psspy.opf_csttbl_poly(4,"",_f, peninsular_cost_b,_f,_f)

        for wind_farm_prod in wind_farm_prods:
            psspy.opf_apdsp_tbl(6,[_i,_i,_i],[ wind_farm_prod,_f,_f])
            psspy.nopf(0,1)
```

Una vez se tenga el archivo python programado, lo que se deberá hacer es simularlo con PSS/E, esto se hará dándole a un botón verde en la parte superior llamado Run Automation File.

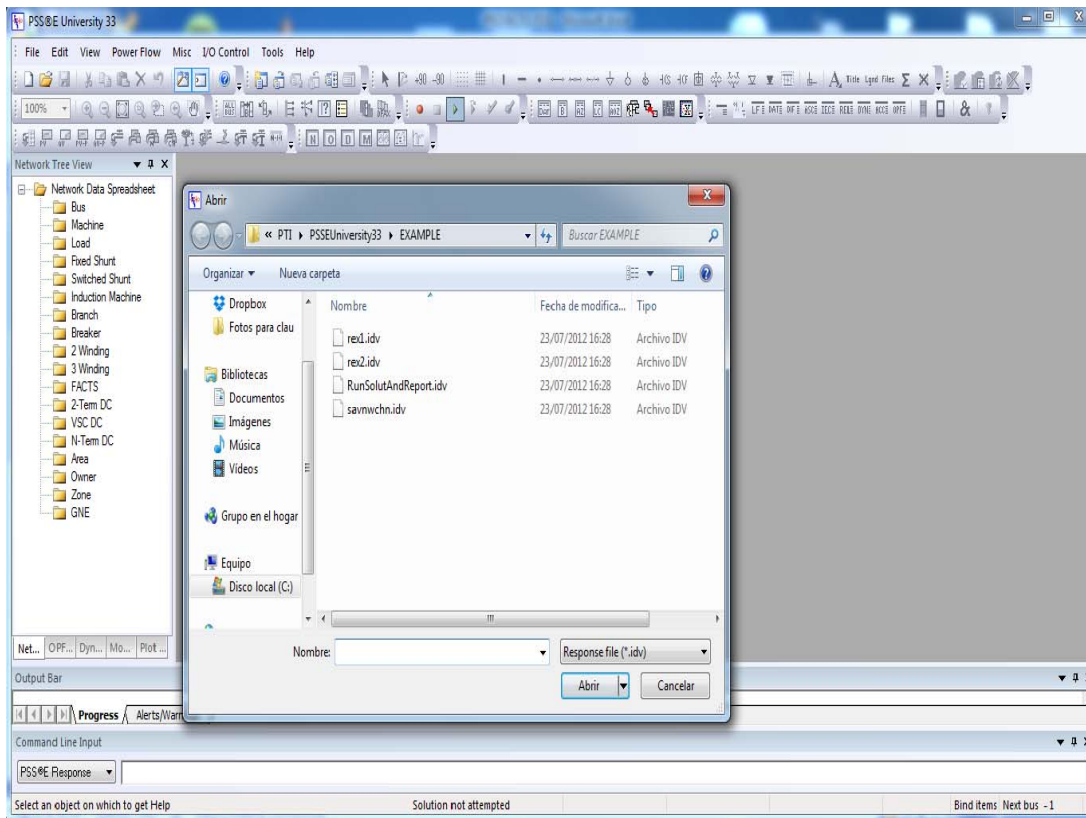


Figura 17. Run Automation File.

Esto abrirá una ventana en la cual nos dirá que elijamos el archivo “.py”, seleccionamos el archivo guardado, y automáticamente el programa empezará a generar todos los casos posibles de cada una de las 10 variables, es decir los 1000 datos de costes. Una vez el programa termine de generarlos, aparecerá en las pestañas de abajo (barra de salida) el informe del despacho económico visto en el capítulo 4.3 de cada uno de los ensayos, y se generará el fichero de salida opf\_output.txt en el cual se podrá sacar los valores de los costes para realizar la tabla.

Este fichero de salida muestra la potencia de las cargas (demanda) tanto la activa como la reactiva (Load-MW, Load-Mvar), la potencia generada (Generation), las reactancias y condensadores (Reactor, Capacitors). También muestra la potencia generada por el parque eólico (Active power dispatch table 6 data changed). Lo siguiente que se ve en el archivo es una tabla con el número de iteraciones, y por último muestra el coste total del combustible (Minimum fuel cost objective).

En el ejemplo que se muestra a continuación, que es la primera combinación en la simulación, podemos ver que el ensayo corresponde a la carga mínima, 270 MW, a una producción eólica de 50 MW, y a un coste mínimo del combustible de 0,00128, lo que es prácticamente 0. Esto se debe a que al haber tan poca demanda y la producción del parque eólico está al máximo, el resto de centrales no producen nada, además, en este caso el coste de la interconexión con la península también es 0, por lo que toda la producción se realiza mediante la interconexión y el parque eólico.

El resto de combinaciones irá de menor a mayor demanda como primer índice, después de menor a mayor coste Peninsular como segundo índice, y de menor a mayor producción eólica como tercer índice, por lo que los primeros ensayos serán los de menor coste y los últimos ensayos los de mayor coste.

Present totals:

Load-MW	900.0 (	Scaling	900.0:	0.0 Interruptible +	900.0 Non-interruptible
	+ Unchanged		0.0:	0.0 Interruptible +	0.0 Non-interruptible )
Load-Mvar	150.0 (	Scaling	150.0:	0.0 Interruptible +	150.0 Non-interruptible
	+ Unchanged		0.0:	0.0 Interruptible +	0.0 Non-interruptible )
Generation	901.2				
Shunt-MW	0.0				
Reactors	0.0				
Capacitors	0.0				

New totals:

Load-MW	270.0 (	Scaling	270.0:	0.0 Interruptible +	270.0 Non-interruptible
	+ Unchanged		0.0:	0.0 Interruptible +	0.0 Non-interruptible )
Load-Mvar	45.0 (	Scaling	45.0:	0.0 Interruptible +	45.0 Non-interruptible
	+ Unchanged		0.0:	0.0 Interruptible +	0.0 Non-interruptible )
Generation	270.0				
Shunt-MW	0.0				
Reactors	0.0				
Capacitors	0.0				

Active power dispatch table 6 data changed:

X--ORIGINAL--X	X-NEW VALUE--X	DATA ITEM
50.0000	1.00000	PGEN MAX

All data appears to be okay

Iter	Mu	NL Objective	Norm RHS	Mismatch(pu)	Row	Equation	Nearest Variable	Step size	NE
1	0	1.74330E+04	1.30E+04	2.45E+00	Peqn	20	Pgen	5	1.45E-01
2x	0	4.06865E+03	8.46E+03	1.60E+00	Peqn	20	Pgen	5	6.21E-03
3	-1	3.95079E+03	8.43E+03	1.59E+00	Peqn	20	Pgen	2	8.96E-02
4x	-1	2.69911E+03	7.69E+03	1.44E+00	Peqn	20	Pgen	1	9.44E-02
5x	-1	1.78146E+03	6.83E+03	1.31E+00	Peqn	20	Pgen	1	1.90E-01
6	-1	8.08995E+02	6.28E+03	1.06E+00	Peqn	20	Pgen	3	2.52E-01



7x	-1	7.54309E+00	5.90E+03	7.92E-01	Peqn	20	Pgen	3	4.20E-02
8x	-1	6.38373E-01	5.84E+03	7.59E-01	Peqn	20			1.00E+00
9	-2	1.57640E-01	6.22E+03	4.48E-03	Qeqn	8			1.00E+00
10	-3	3.20013E-02	6.22E+03	8.34E-07	Qeqn	1			1.00E+00
11	-3	6.40005E-03	6.22E+03	3.42E-10	Qeqn	1			1.00E+00
12	-4	1.28000E-03	5.35E+03	2.17E-10	Qeqn	1			

Optimal Solution Found.

Minimum fuel cost objective: 0.00128

Elapsed time: 0 minutes, 0.015625 seconds.

Producing OPF output report ...

Output report complete.

Output completed

Antes de continuar con el siguiente paso, es muy importante comprobar los criterios de estabilidad de los nudos del sistema. Los nudos no podrán sobrepasar el  $\pm 5\%$  de la tensión por unidad (0,95-1,05).

En este caso, como se puede observar en la siguiente tabla se cumple.

Bus Number	Bus Name	Base KV	Voltage (pu)	Angle (deg)
1	SON REUS	20	1,0393	0
2	SANTA PONSÀ	220	1,0400	3,39
3	MENORCA	20	1,0500	3,83
4	VALLDURGENT	220	1,0352	1,27
5	SON REUS	220	1,0328	-0,39
6	SON ORLANS	220	1,0305	-0,95
7	LLUVÍ	220	1,0277	-1,42
8	ALCUDIA	220	1,0272	-1,79
9	ES BESSONS	220	1,0254	-1,43
10		66	1,0300	-1,41
11		66	1,0257	-2,23
12	LLUCMAJOR	66	1,0233	-2,64
13		66	1,0197	-3,15
14		132	1,0219	-0,24
15	CALA MESQUID	132	1,0466	2,11
20	ALCUDIA	20	1,0331	-0,66
101	SANTA PONSÀ	20	1,0500	8,64
201	CAS TESORER	20	1,0336	-0,55
401	MANACOR	66	1,0184	0,53
501	MANACOR	66	1,0251	3,57
601	ARTA	66	1,0500	11,08
701	EOLICA	20	1,0493	11,39

Tabla 11. Tensión en los nudos.

## 4.2 Obtención del archivo Matlab.

La segunda parte en el método de evaluación económica es la creación de un fichero para el programa Matlab, con la tabla de costes ya incluida.

Una vez hechas todas las comprobaciones y generado el archivo de texto opf\_output.txt se creará otro programa en Python para la realización de la tabla de costes. Este programa llamado build\_tabla\_costes se realizará de la siguiente manera:

- 1) Lo primero que se hará, será decirle al programa que abra el fichero opf\_output.txt, lea los datos de costes de los diferentes ensayos y que genere otro archivo de salida para el lenguaje de programación Matlab llamado build\_tabla\_costes.m

```
import string
import pdb

inputfile = open('opf_output.txt', 'r')
```

```
outputfile = open('build_tabla_costes.m','w')
```

- 2) A continuación, se escribirá un texto para que nos resulte más fácil la comprensión de la tabla con el nombre de las variables, y sus valores e índices correspondientes.

```
outputfile.write("% elements are indexed as (i,j,k)\n")
outputfile.write("% where k indicates wind farm production
(0,5,10,15,20,25,30,35,40,50)\n")
outputfile.write("%           j indicates peninsular cost
(0,15,30,45,60,75,90,105,120,135)\n")
outputfile.write("%           i indicates demand
(270,340,400,450,500,550,630,700,770,850)\n")
outputfile.write("tabla_costes=zeros(10,10,10);\n")
```

- 3) En este paso se programará la construcción de la tabla de costes para las tres variables de entrada, y sus diferentes combinaciones entre ellas.

```
i=1
j=1
k=1
number_of_entries = 0

while 1:
    line = inputfile.readline()
    if 'Minimum fuel cost objective:' in line:
        number_of_entries += 1
        words = string.split(line)
        cost = words[4]
        print "leyendo entrada ", number_of_entries, "; coste = ", cost

outputfile.write("tabla_costes("+str(i)+","+str(j)+","+str(k)+")="+cost+";\n")
    k += 1
    if k == 11:
        k = 1
        j += 1
        if j == 11:
            j = 1
            i += 1
        if number_of_entries == 1000: break
```

- 4) Por último se le dirá al programa que cierre los ficheros de entrada y de salida.

```
inputfile.close()
outputfile.close()
```

Una vez se haya ejecutado este programa en Python, generará el archivo de Matlab (build\_tabla\_costes.m).

Este fichero si al abrirlo con Matlab creará una tabla en 3 dimensiones, con las variables de demanda, producción eólica y coste Peninsular en cada eje, como se puede apreciar en la imagen.

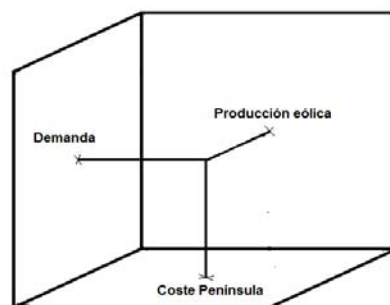


Figura 18. Tabla de costes en 3 dimensiones.

El resultado de la tabla se puede apreciar en la siguiente foto. Como se puede observar, se cumple lo que descrito anteriormente, primero el programa de Python escribiría información acerca de las variables, que es la primera parte escrita en verde. Y a continuación vendrían los datos de los costes asociados a la combinación de las variables  $i, j, k$ .

```

1 % elements are indexed as (i,j,k)
2 % where k indicates wind farm production (0,5,10,15,20,25,30,35,40,50)
3 % j indicates peninsular cost (0,15,30,45,60,75,90,105,120,135)
4 % i indicates demand (200,260,320,380,440,500,560,620,680,740)
5
6 tabla_costes=zeros(10,10,10);
7 tabla_costes(1,1,1)=0.00128;
8 tabla_costes(1,1,2)=0.00128;
9 tabla_costes(1,1,3)=0.00128;
10 tabla_costes(1,1,4)=0.00128;
11 tabla_costes(1,1,5)=0.00128;
12 tabla_costes(1,1,6)=0.00128;
13 tabla_costes(1,1,7)=0.00128;
14 tabla_costes(1,1,8)=0.00128;
15 tabla_costes(1,1,9)=0.00128;
16 tabla_costes(1,1,10)=0.00128;
17 tabla_costes(1,2,1)=4078.472656;
18 tabla_costes(1,2,2)=4017.571777;
19 tabla_costes(1,2,3)=3942.466553;
20 tabla_costes(1,2,4)=3868.370605;
21 tabla_costes(1,2,5)=3795.4021;
22 tabla_costes(1,2,6)=3723.334961;
23 tabla_costes(1,2,7)=3652.307861;
24 tabla_costes(1,2,8)=3582.256836;
25 tabla_costes(1,2,9)=3513.151123;
26 tabla_costes(1,2,10)=3377.896484;
27 tabla_costes(1,3,1)=8156.842773;
28 tabla_costes(1,3,2)=8035.133789;
29 tabla_costes(1,3,3)=7884.929688;
30 tabla_costes(1,3,4)=7736.761719;
31 tabla_costes(1,3,5)=7590.730469;
32 tabla_costes(1,3,6)=7446.70166;
33 tabla_costes(1,3,7)=7304.618164;

```

Figura 19. Tabla de costes en Matlab.

Gracias a esta tabla se puede saber el coste para cualquier valor de las variables, simplemente con escribir en la ventana de comandos `tabla_costes` (demand, peninsular cost, wind farm production) con el valor que se quiera poner a cada índice. Mostrará el coste asociado al valor que se le haya dado.

Si se quisiese obtener el gráfico de la tabla de costes se podría hacer mediante este código sencillo:

```

build_tabla_costes
for k=1:10
    figure(k)
    mesh(tabla_costes(:,:,k))
    axis([1 10 1 10 0 10e4])
    ylabel('i: demand')
    xlabel('j: peninsular cost')
end

```

El resultado de dicho código será la representación de 10 gráficas. El motivo por el cual salen 10 gráficas en vez de una sola, es que Matlab solo puede representar tablas de dos dimensiones, es decir, en este caso tablas de  $10 \times 10$ , y la otra variable restante es el resultado del resto de las gráficas.

En la foto de abajo se puede ver como representa las variables de demanda y precio Peninsular ( $i, j$ ).

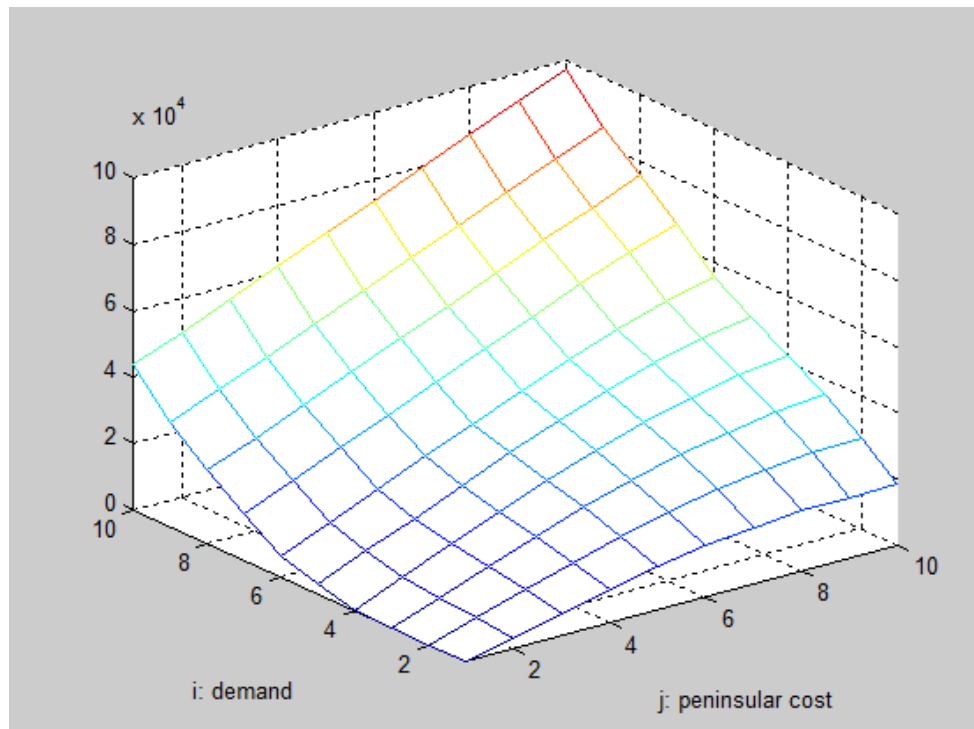


Figura 20. Representación de una gráfica 10x10.

Ya se tiene creada la tabla de costes, ésta será muy útil para calcular el impacto económico del parque eólico en la red de Mallorca, además, cumple con los criterios de estabilidad y restricciones técnicas lo que hará más fiable el resultado de nuestro experimento.

Asimismo, lo bueno que tiene este procedimiento o herramienta es que podrá valer para cualquier ejemplo aplicativo de la red de Mallorca, y no solo eso, podría valer para cualquier experimento de tipo económico, ya sea un parque eólico, un parque fotovoltaico etc...

Ya que el procedimiento sería el mismo. Lo único que se debería cambiar son los valores de las variables, y en el caso de tener otro sistema eléctrico lo único que se debería hacer es volver a modelar el sistema y sacar otra tabla de costes siguiendo los pasos explicados anteriormente.

## **5. EJEMPLO DE APLICACIÓN**

## 5. EJEMPLO DE APLICACIÓN.

En este apartado se verá un ejemplo aplicativo del uso de esta herramienta, en el que se calculará el ahorro económico de combustible de las centrales eléctricas, mediante la utilización de un parque eólico, partiendo de valores reales de demanda y precio peninsular, y la producción eólica.

### Características del ejemplo aplicativo:

- Sistema eléctrico utilizado: Red de Mallorca-Menorca
- Potencia nominal del parque eólico: 50 MW
- Periodo de estudio: 8760 horas (un año)
- N° de ensayos: 2

Para el cálculo del ahorro se usarán dos ensayos, cuando el parque eólico esté conectado a la red, y cuando este desconectado. Ya que para calcular el ahorro se necesitará saber cuánto costaría el combustible para ambos casos.

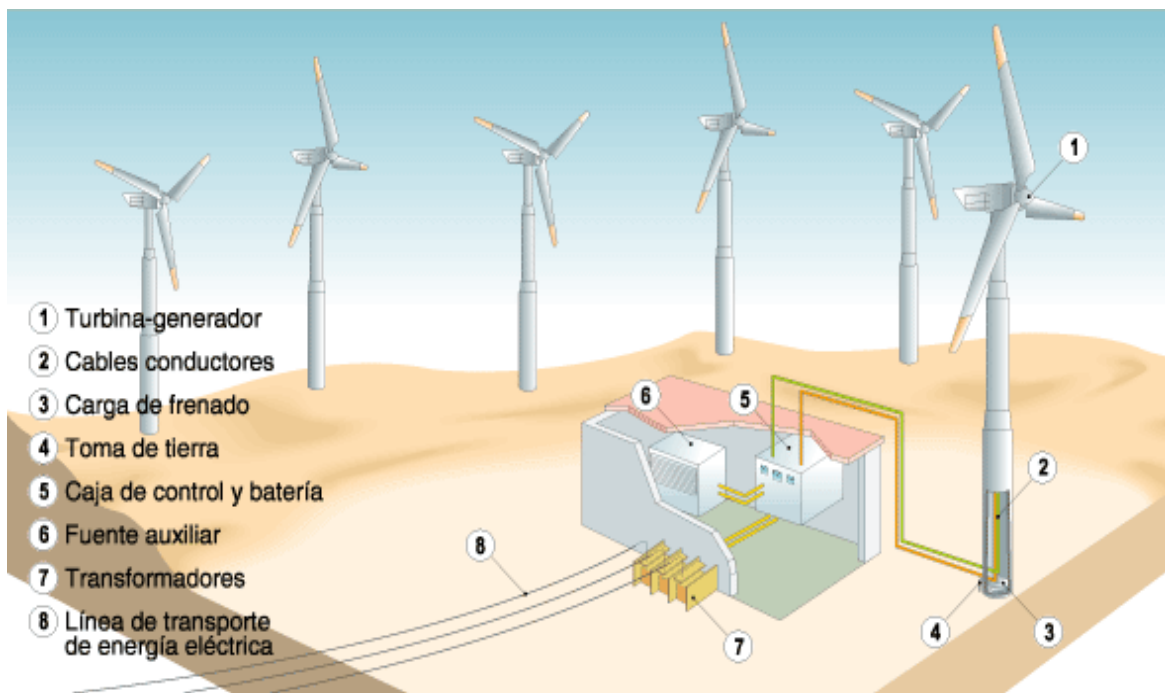


Figura 21. Parque eólico Fte:<http://www.tecnoblogsanmartin.files.wordpress.com>

Dentro de este apartado se encontrarán tres partes, primero se hablará de las variables de demanda, producción eólica y precio Peninsular. A continuación, se mostrará un método para facilitar la toma de los datos para los dos ensayos y por último se expondrán los resultados de dichos ensayos, en los que mostraré el ahorro total del proyecto.

## 5.1 Análisis de las variables.

### Demanda

La demanda de Mallorca se ha sacado de la página de Red Eléctrica de España.

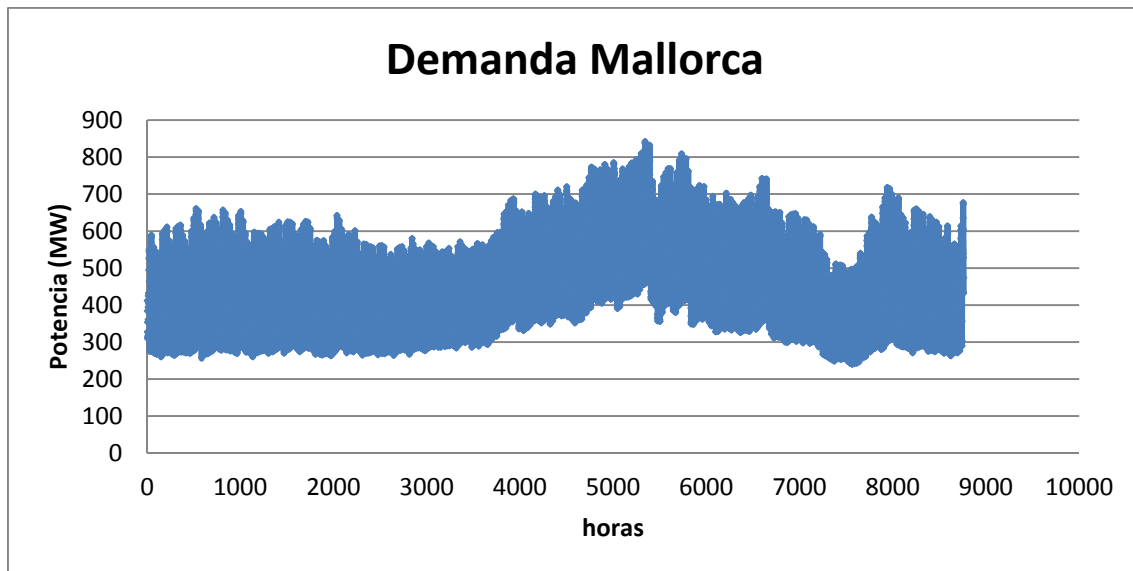


Figura 22. Curva de demanda Mallorca.

Como se puede observar la figura muestra la curva de demanda de Mallorca a lo largo de un año. Se puede ver que los picos de potencia se encontrarán en los meses de junio a septiembre y las zonas valle en los meses desde marzo a mayo, y de octubre a noviembre.

### Precio Peninsular.

El precio de la Península se ha obtenido de la página de OMIE, donde se muestra el precio del mercado energético en España.

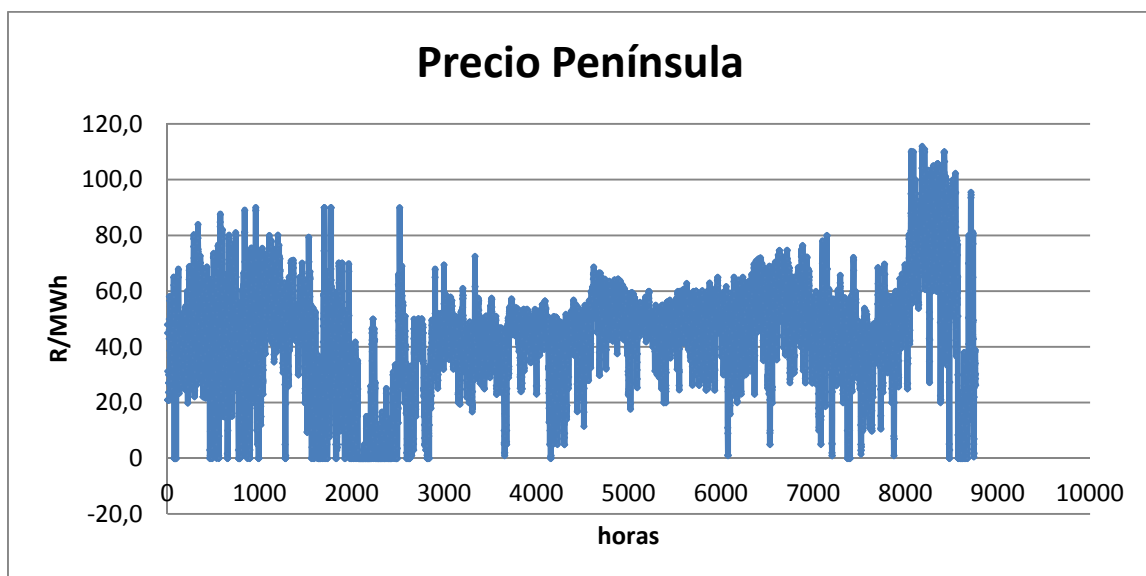


Figura 23. Curva del precio Peninsular.



Como se puede observar en la curva, los valores van desde un precio 0 hasta precios de 118, esto es debido a que el precio de la Península varía según la producción de las energías renovables, cuanto mayor producción de éstas haya menor será el precio del mercado.

### Producción eólica.

Otra de las variables que encontramos es el de la producción eólica, Para sacar los valores de producción se utilizó la siguiente figura:

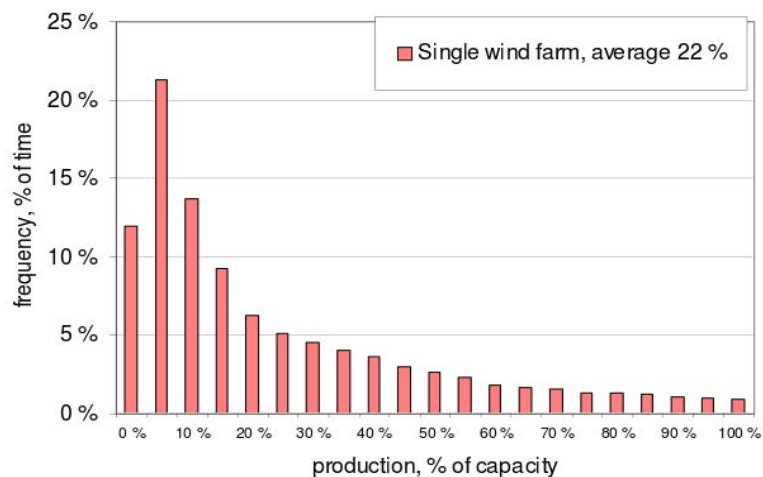


Figura 24. Gráfico frecuencia-producción.

Esta figura lo que nos muestra es el porcentaje de producción eólica y la frecuencia de tiempo del mismo. Por ejemplo, para producciones de 0-5 % el tiempo de funcionamiento sería del 12% del total del tiempo del parque eólico.

Para sacar los valores de producción a partir de este gráfico, lo que se ha hecho ha sido crear un programa en Matlab, que te muestra valores de producción teniendo en cuenta el porcentaje de capacidad y frecuencia. Por lo que nos quedaría un gráfico de producción eólica de la siguiente manera:

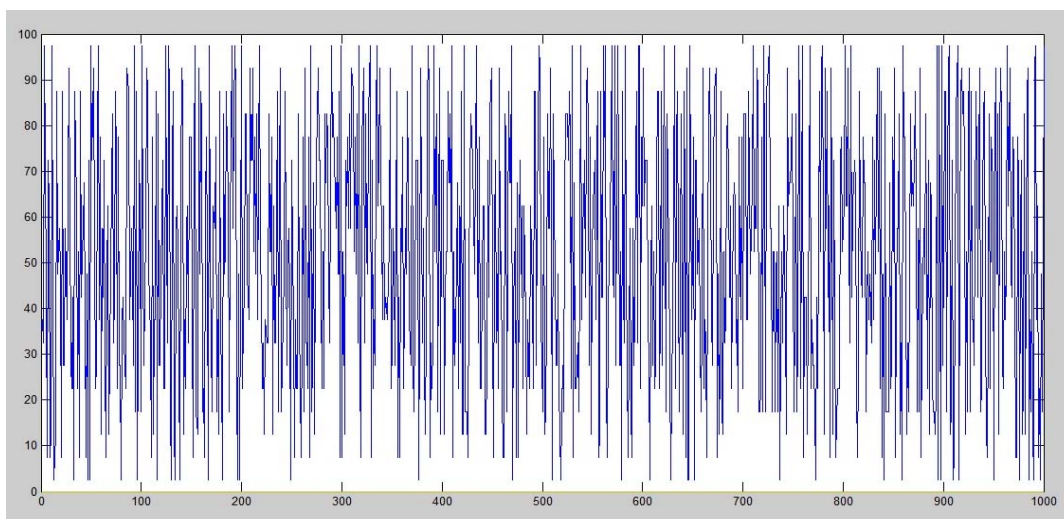


Figura 25. Datos de producción eólica (%).

Estos valores son en tanto por ciento por lo que se deberá multiplicar por los 50 MW del parque eólico para saber la producción en MW.

## 5.2 Método de obtención de costes.

Como se ha visto anteriormente, para calcular el coste de un ensayo solo se debe meter los datos de las variables en la tabla de costes de Matlab, pero debido a que en este ejemplo aplicativo deberemos hacer 8760 ensayos, se ha optado por crear otro programa en Matlab que haga de forma automática estos procesos.

Para la realización de este programa se utilizaron los siguientes pasos:

- 1) El primer paso para la realización del programa es importar un fichero Excel, en el cual se encuentran los datos de demanda, precio Peninsular y producción eólica de las 8760 horas descritas en el apartado anterior. Para ello primero se deberá transformar el fichero Excel al formato separado por comas (.csv), esto se realiza de esta manera para que el programa Matlab pueda leerlo. Una vez lo haya leído e importado todos los datos, habrá que programar la separación de los datos, ya que éstos vienen juntos separados por comas (ejemplo: 1,48.01,412,0), para ello se utiliza la función “regexp”. Esta función separa cada uno de los valores de las variables. Una vez realizado este paso, se procederá a la ejecución de dichas variables en la tabla de coste build\_tabla\_costes. El código de programación es el siguiente:

```
function experimento()
clear all

%Leemos el archivo con los datos del experimento
[archivo,ruta]=uigetfile('*.csv','ABRIR ARCHIVO');
if archivo==0
    return;
else

    fid =fopen([ruta archivo],'r');
    n=1;
    while ~feof(fid)
        leer_linea = fgetl(fid);
        if isempty(leer_linea) || ~ischar(leer_linea), break, end
        cadena_split = regexp(leer_linea, ',', 'split');
        A(n,1)= cadena_split(1);
        A(n,2)= cadena_split(2);
        A(n,3)= cadena_split(3);
        A(n,4)= cadena_split(4);
        n=n+1;
    end
    fclose(fid);
end
%Realizamos el experimento
res = zeros(1,size(A,1));
horas = zeros(1,size(A,1));
for i=1:size(A,1)
    res(i) =
    build_tabla_costes(str2double(A(i,3)),str2double(A(i,2)),str2double(A(i,4)));
    horas(i) = i;
end
```

- 2) Al ejecutarse, los valores de las variables van al fichero de programación build\_tabla\_costes, este fichero es el que se genera desde Python en el apartado 4.2, pero modificado, ya que la tabla de costes solo pude utilizar 10 valores de cada variable, y en los 8760 datos aparecen valores diferentes a los de la tabla, por lo que se tuvo que realizar una aproximación de los datos a los valores de la tabla de coste. El código de programación es el siguiente:

```

resultados = zeros(1,10) ;
%Obtencion indice_i
for i=1:10
    resultados(i) = demanda - valores_demanda(i);
end
resultados = abs(resultados);
minimo = min(resultados);
indice_i =0;
for i=1:10
    if minimo == resultados(i)
        indice_i = i;
    end
end

%Obtencion indice_j
for i=1:10
    resultados(i) = precio - valores_precio(i);
end
resultados = abs(resultados);
minimo = min(resultados);
indice_j =0;
for i=1:10
    if minimo == resultados(i)
        indice_j = i;
    end
end

%Obtencion indice_k
for i=1:10
    resultados(i) = produccion - valores_produccion(i);
end
resultados = abs(resultados);
minimo = min(resultados);
indice_k =0;
for i=1:10
    if minimo == resultados(i)
        indice_k = i;
    end
end
end

```

Este código consiste en la resta del dato de la muestra con los 10 valores de las variables; esto genera 10 resultados. Para que todos los resultados sean positivos se hará el valor absoluto de ellos, y después se elige el más pequeño, es decir el valor que más se aproxime, una vez se obtenga ese valor, el programa coge el índice del resultado escogido, esto lo hace para las tres variables. Para una mayor comprensión del método pondré un ejemplo:

El ensayo consistiría en la hora 1 del ejemplo aplicativo, en el cual tenemos los siguientes valores de demanda [MW], precio peninsular [R/MWh] y producción [MW] (412, 48, 36.25)

#### Demanda:

412 – 270 = 142 → valor absoluto → 142  
 412 – 340 = 72 → valor absoluto → 72  
 412 – 400 = 12 → valor absoluto → 12 → Menor valor → índice **i = 3**  
 412 – 450 = -38 → valor absoluto → 38  
 412 – 500 = -88 → valor absoluto → 88

$412 - 550 = -138 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 138$   
 $412 - 630 = -218 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 218$   
 $412 - 700 = -288 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 288$   
 $412 - 770 = -358 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 358$   
 $412 - 850 = -438 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 438$

#### Precio Peninsular:

$48 - 0 = 48 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 48$   
 $48 - 15 = 33 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 33$   
 $48 - 30 = 18 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 18$   
 $48 - 45 = 3 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 3 \rightarrow \text{Menor valor} \rightarrow \text{índice } j = 4$   
 $48 - 60 = -12 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 12$   
 $48 - 75 = -27 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 27$   
 $48 - 90 = -42 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 42$   
 $48 - 105 = -57 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 57$   
 $48 - 120 = -72 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 72$   
 $48 - 135 = -87 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 87$

#### Producción eólica.

$36.25 - 1 = 35.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 35.25$   
 $36.25 - 5 = 31.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 31.25$   
 $36.25 - 10 = 26.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 26.25$   
 $36.25 - 15 = 21.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 21.25$   
 $36.25 - 20 = 16.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 16.25$   
 $36.25 - 25 = 11.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 11.25$   
 $36.25 - 30 = 6.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 6.25$   
 $36.25 - 35 = 1.25 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 1.25 \rightarrow \text{Menor valor} \rightarrow \text{índice } k = 8$   
 $36.25 - 40 = -3.75 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 3.75$   
 $36.25 - 50 = -13.75 \rightarrow \text{valor absoluto} \rightarrow 13.75$

Por tanto, en dicho ensayo el programa redondearía a los índices (3, 4, 8), lo que numéricamente sería (400, 45, 35).

Esta parte en el código de programación es esencial, ya que si no el programa no podría utilizar valores diferentes al de las variables.

Una vez hecha la aproximación de las variables, la tabla de costes dará el valor del coste asociado a la demanda, precio Peninsular y producción eólica.

- 3) Por último, para mayor facilidad a la hora de obtener todos los costes se exportarán los datos a un fichero Excel, y se realizará una gráfica de los costes.

```

% graficar
fsin = figure;
set(fsin, 'Name', 'Figura_Resultado', 'NumberTitle', 'off');
plot(horas, res);
grid on;
title('Resultados')
legend('Leyenda');

```

```

xlabel('Horas');
ylabel('Resultados');
% guardar figura en la carpeta
saveas(fsin, 'C:\Resultados_Matlab\sin.fig', 'fig');

%Guardar datos en archivo EXCEL
Nameexcel = 'C:\Resultados_Matlab\resultados.xls';
titulo = {'Horas' 'Resultado'};
datos = vertcat(horas,res)';
xlswrite(Nameexcel, titulo, 1, 'A1');
xlswrite(Nameexcel, datos, 1, 'A2');

```

Estos procesos se realizarán para dos ensayos, para cuando esté produciendo el parque eólico y para cuando no esté funcionando, así se podrá calcular el ahorro.

Se Puede definir el ahorro anual como la diferencia entre el coste cuando no esté produciendo el parque eólico y cuando sí esté produciendo.

$$Ahorro = Costes_{sin\ producción\ eólica} - Costes_{con\ producción\ eólica}$$

Donde:

$$Costes_{sin\ producción\ eólica} = \sum_{i=1}^{8760} C_{i(sin\ producción\ eólica)}$$

$$Costes_{con\ producción\ eólica} = \sum_{i=1}^{8760} C_{i(con\ producción\ eólica)}$$

Los costes para ambos experimentos son el sumatorio del coste de cada hora del año.

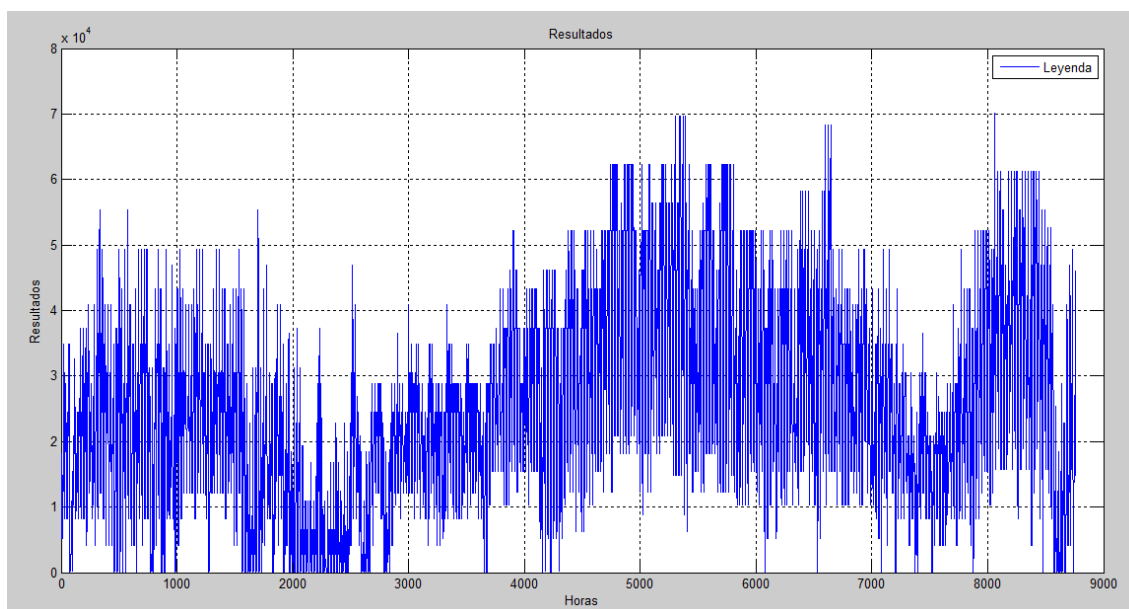
Una vez realizado este proceso para los dos experimentos, se creará un archivo Excel, en el cual se podrá observar los costes para las 8760 horas.

Como se puede observar este programa será de gran ayuda para la realización de este ejemplo aplicativo, ya que gracias a él se podrá realizar los ensayos de una manera más rápida, sin necesidad de ir pasando dato a dato.

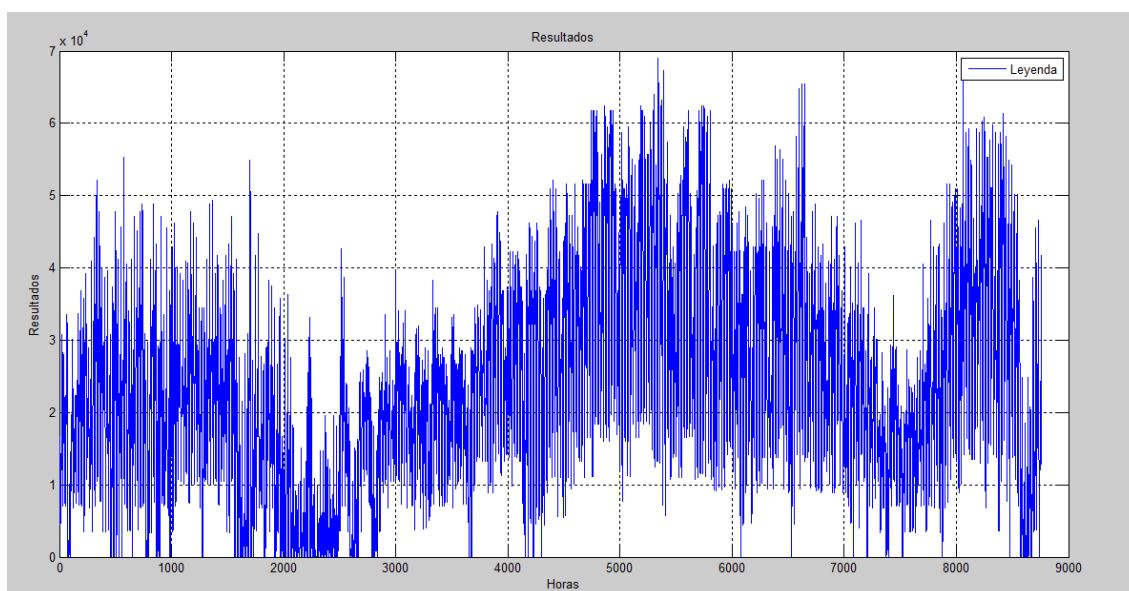
### 5.3 Resultados.

Una vez ejecutado el programa y obtenido los ficheros Excel con los datos de costes para los dos ensayos, se puede realizar el cálculo del ahorro anual.

Las gráficas de cada ensayo son las siguientes:



*Figura 26. Costes sin producción eólica.*



*Figura 27. Costes con producción eólica.*

Donde el eje “x” representa las horas del año, y el eje “y” representa el coste (\$).

Podemos observar que ambas curvas se asimilan a la curva de la demanda, esto es debido a que cuanto mayor sea la demanda mayor es también el coste.

Como se ha comentado antes, el ahorro anual es la diferencia entre el coste sin producción eólica y con producción:

$$\text{Ahorro} = 216.797.894 - 202.127.967 = 14.669.927,1 (\$)$$

Como se puede observar, el mayor coste corresponde a los momentos en los que no hay generación eólica. Esto es debido a que las centrales eléctricas deben producir mayor potencia y por tanto deben utilizar mayor combustible. Cuando el parque eólico esté produciendo, lo hace al máximo posible ya que su coste marginal es cero.

Por tanto, como se puede ver, instalando una central de 50 MW en Mallorca, que supone el 2,5% de la potencia total instalada, obtendríamos un ahorro anual en el combustible de 14,67 M\$.

## **6. CONCLUSIÓN**



## 6. CONCLUSIÓN.

Este Trabajo de Fin de Grado se programó con dos objetivos principales:

En primer lugar, la realización de una herramienta que nos permitiese calcular el coste mediante las variables de demanda, precio Peninsular y la producción de un parque eólico.

Y en segundo lugar la realización de un ejemplo aplicativo, en el cual se utilizaba un parque eólico de 50 MW, y se tenía que obtener el ahorro de combustible por medio de dos ensayos (cuando el parque eólico estaba en funcionamiento, y cuando no lo estaba), mediante el uso de la herramienta anteriormente mencionada.

Se puede afirmar que ambos objetivos se han realizado con éxito, cumpliendo con las expectativas expuestas.

Además, se han adquirido o afianzado conocimientos sobre el análisis de sistemas eléctricos, tanto en la parte de flujo de cargas como en la de despacho económico, en la cual se ha comprendido mejor el funcionamiento de la generación a partir de curvas de costes. Así mismo, se han podido afianzar conocimientos en el funcionamiento de las centrales y del parque eólico, en cuanto a costes de infraestructuras, y de combustibles.

Para la realización de este proyecto la programación ha adquirido un papel fundamental. Gracias a los programas utilizados como PSS/E, Matlab y Python se han podido realizar de forma más automática los ensayos, sin necesidad de ir uno a uno. También se ha podido cumplir con las restricciones técnicas, manteniendo en todo momento la estabilidad en nuestro sistema.

Por lo tanto, se ha creado una herramienta capaz de calcular el ahorro económico de nuestro sistema eléctrico, y no solo del nuestro, esta herramienta sería capaz de hacer un análisis económico de cualquier sistema simplemente cambiando una serie de variables, y el esquema de la red.

Asimismo, gracias al ejemplo aplicativo, se ha podido comprobar cómo por medio de la energía eólica se puede ahorrar mucho dinero en combustible. En este caso, simplemente con una central de 50 MW, que supone el 2,5% de la potencia total instalada en este sistema eléctrico, se ha conseguido un ahorro de 14,67 M\$.

Éste ahorro supone un gran cambio a nivel económico, ya que como vimos al principio España importa el 81% del combustible, por tanto, mediante la implantación de la energía eólica se podría limitar el uso de estos combustibles, así como la emisión de partículas nocivas al entorno.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Fermín Barrero. *Sistemas de energía eléctrica*, Paraninfo, 2004
- [2] Grainger J.J. y Stevenson W.D. *Análisis de sistemas de potencia*, McGraw-Hill.
- [3] Siemens. *PSS/E 30.2 Users manual*, Noviembre, 2005.
- [4] Asociación Empresarial Eólica. <http://www.aeeolica.org/>
- [5] World Wind Energy Association. <http://www.wwindea.org/>
- [6] Red Eléctrica Española. <http://www.ree.es/es/>
- [7] Comisión Nacional de la Energía. <http://www.cne.es>
- [8] Registro Estatal de Emisiones y fuentes contaminantes. <http://www.prtr-es.es/>
- [9] Endesa. <http://www.endesa.es>
- [10] Ejercicios Matlab. <http://www.mathworks.es/>
- [11] Tutorial Python. <http://docs.python.org.ar/tutorial/pdfs/TutorialPython3.pdf>
- [12] Siemens. <http://www.siemens.com/answers/es/es/>
- [13] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <http://www.idae.es/>
- [14] OMI-Polo Español S.A (OMIE). <http://www.omie.es/inicio>
- [15] Google. <http://www.google.es>
- [16] Wikipedia. <http://es.wikipedia.org/>

[17] Espacios Naturales Mallorca. [http://www.mallorcasuite.com/es/espacios\\_naturales.htm](http://www.mallorcasuite.com/es/espacios_naturales.htm)

[18] Asociación de Empresas de Energías Renovables. <http://www.appa.es/>

[19] Centro de investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas.  
<http://www.ciemat.es/>

## **ANEXOS**

## ANEXO I. CODIGOS FUENTE PROGRAMAS

En este anexo se muestran los códigos fuente de los ficheros en Python (.py) y Matlab (.m) que se ha utilizado para la realización de este proyecto.

### Construcción\_tabla (.py)

```
# File:"C:\Users\Ivan\Desktop\Proyecto\construccion_tabla.py", generated on FRI, JUN 13
2014 10:36, release 33.04.00
psspy.case(r"C:\Users\Ivan\Desktop\Proyecto\mallorca2.sav")
psspy.ropf(r"C:\Users\Ivan\Desktop\mallorca2(buena).rop")
psspy.lines_per_page_one_device(1,60)
psspy.progress_output(2,r"opf_output.txt",[2,0])
psspy.minimize_fuel_cost(1)
psspy.set_opf_report_subsystem(3,1)

demands=(270,340,400,450,500,550,630,700,770,850)
# cost = a + b*p + c*p^2
peninsular_cost_bs=(0,15,30,45,60,75,90,105,120,135)
wind_farm_prods=(1,5,10,15,20,25,30,35,40,50)

for demand in demands:
    psspy.scal_2(0,1,1,[0,0,0,0,0],
    [0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0])
    psspy.scal_2(0,1,2,[_i,1,0,1,0],[demand,demand,
    0.0,-.0,0.0,-.0,150.0])
    for peninsular_cost_b in peninsular_cost_bs:
        psspy.opf_csttbl_poly(4,"_f, peninsular_cost_b,_f,
        _f,_f)

        for wind_farm_prod in wind_farm_prods:
            psspy.opf_apdsp_ttbl(6,[_i,_i,_i],[wind_farm_prod,
            _f,_f])
            psspy.nopf(0,1)
```

### write\_matlab\_table (.py)

```
import string
import pdb

inputfile = open('opf_output.txt','r')
outputfile = open('build_tabla_costes.m','w')

outputfile.write("% elements are indexed as (i,j,k)\n")
outputfile.write("% where k indicates wind farm production
(0,5,10,15,20,25,30,35,40,50)\n")
outputfile.write("% j indicates peninsular cost
(0,15,30,45,60,75,90,105,120,135)\n")
outputfile.write("% i indicates demand
(270,340,400,450,500,550,630,700,770,850)\n")
outputfile.write("tabla_costes=zeros(10,10,10);\n")

i=1
j=1
k=1
number_of_entries = 0

while 1:
    line = inputfile.readline()
    if 'Minimum fuel cost objective:' in line:
        number_of_entries += 1
        words = string.split(line)
        cost = words[4]
        print "leyendo entrada ", number_of_entries, "; coste = ", cost
        outputfile.write("tabla_costes("+str(i)+","+str(j)+","+str(k)+")="+cost+";\n")
        k += 1
        if k == 11:
            k = 1
            j += 1
        if j == 10:
            j = 1
            i += 1
        if i == 10:
            i = 1
            number_of_entries = 0
```

```

        if j == 11:
            j = 1
            i += 1
        if number_of_entries == 1000: break

inputfile.close()
outputfile.close()

```

### plot\_tabla(.m)

```

build_tabla_costes
for k=1:10
    figure(k)
    mesh(tabla_costes(:, :, k))
    axis([1 10 1 10 0 10e4])
    ylabel('i: demand')
    xlabel('j: peninsular cost')
end

```

### Aproximación de números (.m)

```

function coste_total=build_tabla_costes(demanda,precio,produccion)
% elements are indexed as (i,j,k)
%     i indicates demand (270,340,400,450,500,550,630,700,770,850)
%     j indicates peninsular cost (0,15,30,45,60,75,90,105,120,135)
% where k indicates wind farm production (1,5,10,15,20,25,30,35,40,50)
valores_demanda = [270 340 400 450 500 550 630 700 770 850];
valores_precio = [0,15,30,45,60,75,90,105,120,135];
valores_produccion = [1,5,10,15,20,25,30,35,40,50];

resultados = zeros(1,10) ;
%Obtencion indice_i
for i=1:10
    resultados(i) = demanda - valores_demanda(i);
end
resultados = abs(resultados);
minimo = min(resultados);
indice_i =0;
for i=1:10
    if minimo == resultados(i)
        indice_i = i;
    end
end

%Obtencion indice_j
for i=1:10
    resultados(i) = precio - valores_precio(i);
end
resultados = abs(resultados);
minimo = min(resultados);
indice_j =0;
for i=1:10
    if minimo == resultados(i)
        indice_j = i;
    end
end

%Obtencion indice_k
for i=1:10
    resultados(i) = produccion - valores_produccion(i);
end
resultados = abs(resultados);
minimo = min(resultados);
indice_k =0;
for i=1:10
    if minimo == resultados(i)
        indice_k = i;
    end
end

coste_total= tabla_costes(indice_i,indice_j,indice_k);

```

Experimento (.m)

```

function experimento()
clear all

%Leemos el archivo con los datos del experimento
[archivo,ruta]=uigetfile('*.csv','ABRIR ARCHIVO');
if archivo==0
    return;
else
    %Estrategia 1
    fid =fopen([ruta archivo],'r');
    n=1;
    while ~feof(fid)
        leer_linea = fgetl(fid);
        if isempty(leer_linea) || ~ischar(leer_linea), break, end
        cadena_split = regexp(leer_linea, ',', 'split');
        A(n,1)= cadena_split(1);
        A(n,2)= cadena_split(2);
        A(n,3)= cadena_split(3);
        A(n,4)= cadena_split(4);
        n=n+1;
    end
    fclose(fid);
end
%Realizamos el experimento
res = zeros(1,size(A,1));
horas = zeros(1,size(A,1));
for i=1:size(A,1)
    res(i) =
    build_tabla_costes(str2double(A(i,3)),str2double(A(i,2)),str2double(A(i,4)));
    horas(i) = i;
end

% graficar
fsin = figure;
set(fsin,'Name','Figura_Resultado','NumberTitle','off');
plot(horas,res);
grid on;
title('Resultados')
legend('Leyenda');
xlabel('Horas');
ylabel('Resultados');
% guardar figura en la carpeta
saveas(fsin, 'C:\Resultados_Matlab\sin.fig', 'fig');

%Guardar datos en archivo EXCEL
Nameexcel = 'C:\Resultados_Matlab\resultados.xls';
titulo = {'Horas' 'Resultado'};
datos = vertcat(horas,res)';
xlswrite(Nameexcel, titulo, 1, 'A1');
xlswrite(Nameexcel, datos, 1, 'A2');

```

muestras\_eolica (.m)

```

p = zeros(1000);

for i =1:1000
    t=rand*100;
    if t < 25
        p(i) = 12.5;
    elseif t < 50
        p(i) = 27.5;
    elseif t < 75
        p(i) = 62.5;
    else
        p(i) = 87.5;
    end
end
plot(p)

```



## ANEXO II. FICHERO MALLORCA.RAW

```

0, 100.00, 33, 0, 1, 50.00 / PSS(R)E UNIVERSITY-33.2 WED, SEP 17 2014 0:26
RED DE MALLORCA
TFG Iván de Iriarte
1,'SON REUS ', 20.0000,3, 1, 1, 1,1.00000,
0.0000,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
2,'SANTA PONSA ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99595,
0.6360,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
3,'MENORCA ', 20.0000,2, 1, 1, 1,1.00000,
0.4760,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
4,'VALLDURGENT ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99330, -
0.5167,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
5,'SON REUS ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99484, -
0.8819,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
6,'SON ORLANS ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99493, -
1.0770,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
7,'LLUVÍ ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99358, -
0.8075,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
8,'ALCUDIA ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99430, -
0.3357,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
9,'ES BESSONS ', 220.0000,1, 1, 1, 1,0.99146, -
1.1568,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
10,' ', 66.0000,1, 1, 1, 1,0.98705, -
2.9926,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
11,' ', 66.0000,1, 1, 1, 1,0.98715, -
3.1869,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
12,'LLUCMAJOR ', 66.0000,1, 1, 1, 1,0.98694, -
3.3023,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
13,' ', 66.0000,1, 1, 1, 1,0.98552, -
3.2457,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
14,' ', 132.0000,1, 1, 1, 1,0.99176, -
0.8548,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
15,'CALA MESQUID ', 132.0000,1, 1, 1, 1,0.99525, -
0.9893,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
20,'ALCUDIA ', 20.0000,2, 1, 1, 1,1.00000,
2.4345,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
101,'SANTA PONSA ', 20.0000,2, 1, 1, 1,1.00000,
3.5136,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
201,'CAS TESORER ', 20.0000,2, 1, 1, 1,1.00000, -
0.3859,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
401,'MANACOR ', 66.0000,1, 1, 1, 1,0.99058, -
0.5147,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
501,'MANACOR ', 66.0000,1, 1, 1, 1,0.99390,
0.8030,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
601,'ARTA ', 66.0000,1, 1, 1, 1,1.00060,
4.1648,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
701,'EOLICA ', 20.0000,2, 1, 1, 1,1.00000,
4.3023,1.10000,0.90000,1.10000,0.90000
0 / END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA
8,'1 ',1, 1, 1, 250.000, 41.667, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
10,'1 ',1, 1, 1, 150.000, 25.000, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
11,'1 ',1, 1, 1, 150.000, 25.000, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
12,'1 ',1, 1, 1, 150.000, 25.000, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
13,'1 ',1, 1, 1, 100.000, 16.667, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
15,'1 ',1, 1, 1, 100.000, 16.667, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
501,'1 ',1, 1, 1, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000,
0.000, 1,1,0
0 / END OF LOAD DATA, BEGIN FIXED SHUNT DATA
0 / END OF FIXED SHUNT DATA, BEGIN GENERATOR DATA
1,'1 ', 131.202, 45.228, 320.000, -320.000,1.00000, 0, 600.000,
0.00000E+0, 3.00000E-1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,1.00000,1, 100.0, 300.000, 0.000,
1,1.0000

```

3,'1 '	100.000,	19.961,	150.000,	-150.000,1.00000,	0,	275.000,	
0.00000E+0,	3.00000E-1,	0.00000E+0,	0.00000E+0,1.00000,1,	100.0,	275.000,	0.000,	
1,1.0000							
20,'1 '	350.000,	49.972,	270.000,	-270.000,1.00000,	0,	510.000,	
0.00000E+0,	3.00000E-1,	0.00000E+0,	0.00000E+0,1.00000,1,	100.0,	510.000,	0.000,	
1,1.0000							
101,'1 '	200.000,	21.211,	300.000,	-300.000,1.00000,	0,	100.000,	
0.00000E+0,	1.00000E+0,	0.00000E+0,	0.00000E+0,1.00000,1,	100.0,	400.000,	0.000,	
1,1.0000							
201,'1 '	100.000,	42.886,	300.000,	-300.000,1.00000,	0,	100.000,	
0.00000E+0,	1.00000E+0,	0.00000E+0,	0.00000E+0,1.00000,1,	100.0,	468.000,	0.000,	
1,1.0000							
701,'1 '	20.000,	-4.988,	20.000,	-20.000,1.00000,	0,	100.000,	
0.00000E+0,	1.00000E+0,	0.00000E+0,	0.00000E+0,1.00000,1,	100.0,	50.000,	0.000,	
1,1.0000							
0 / END OF GENERATOR DATA, BEGIN BRANCH DATA							
2,	4,'1 '	8.26000E-4,	1.00000E-2,	0.01700,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,2,	0.00,	1,1.0000		
4,	5,'1 '	2.23000E-3,	1.45000E-2,	0.02526,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
5,	6,'1 '	1.86000E-3,	1.20900E-2,	0.02105,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
5,	7,'1 '	5.08000E-3,	3.30400E-2,	0.05755,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
6,	7,'1 '	4.21000E-3,	2.74000E-2,	0.04772,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
7,	8,'1 '	2.48000E-3,	1.61200E-2,	0.02807,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
7,	8,'2 '	2.48000E-3,	1.61200E-2,	0.02807,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
7,	9,'1 '	2.36000E-3,	1.53100E-2,	0.02667,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
7,	9,'2 '	2.36000E-3,	1.53100E-2,	0.02667,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
10,	11,'1 '	2.02000E-2,	4.20900E-2,	0.01322,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
10,	12,'1 '	8.26400E-2,	1.72180E-1,	0.00601,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
11,	12,'1 '	1.83700E-2,	3.82600E-2,	0.01202,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
12,	13,'1 '	7.30000E-2,	1.52090E-1,	0.02124,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
14,	15,'1 '	8.03500E-2,	1.20520E-1,	0.04513,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
401,	501,'1 '	3.90000E-2,	1.08000E-1,	0.00800,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
501,	601,'1 '	9.70000E-2,	2.72000E-1,	0.02000,	0.00,	0.00,	
0.00000,	0.00000,	0.00000,	0.00000,1,1,	0.00,	1,1.0000		
0 / END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA							
1,	5,	0,'1 '	1,1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,'			1,1, 1,1.0000,	
0,1.0000,	0,1.0000,	0,1.0000,'					
0.00000E+0,	1.16700E-2,	100.00					
1.00000,	0.000,	0.000,	0.00,	0.00,	0.00, 0,	0, 1.10000,	0.90000,
1.10000,	0.90000,	33, 0,	0.00000,	0.00000,	0.000		
1.00000,	0.000						
2,	101,	0,'1 '	1,1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,'			1,1, 1,1.0000,	
0,1.0000,	0,1.0000,	0,1.0000,'					
0.00000E+0,	2.50000E-2,	100.00					
1.00000,	0.000,	0.000,	0.00,	0.00,	0.00, 0,	0, 1.10000,	0.90000,
1.10000,	0.90000,	33, 0,	0.00000,	0.00000,	0.000		
1.00000,	0.000						
3,	15,	0,'1 '	1,1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,'			1,1, 1,1.0000,	
0,1.0000,	0,1.0000,	0,1.0000,'					
0.00000E+0,	2.54500E-2,	100.00					
1.00000,	0.000,	0.000,	0.00,	0.00,	0.00, 0,	0, 1.10000,	0.90000,
1.10000,	0.90000,	33, 0,	0.00000,	0.00000,	0.000		
1.00000,	0.000						
4,	10,	0,'1 '	1,1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,'			1,1, 1,1.0000,	
0,1.0000,	0,1.0000,	0,1.0000,'					
0.00000E+0,	2.66700E-2,	100.00					
1.00000,	0.000,	0.000,	0.00,	0.00,	0.00, 0,	0, 1.10000,	0.90000,
1.10000,	0.90000,	33, 0,	0.00000,	0.00000,	0.000		
1.00000,	0.000						
5,	11,	0,'1 '	1,1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,'			1,1, 1,1.0000,	
0,1.0000,	0,1.0000,	0,1.0000,'					
0.00000E+0,	2.66700E-2,	100.00					

```

1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
6, 12, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 2.66700E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
6, 201, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 1.20000E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
20, 8, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 1.37300E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
9, 13, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 3.55600E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
9, 14, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 2.66700E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
14, 401, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 3.00000E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
601, 701, 0,'1 ','1,1,1, 0.00000E+0, 0.00000E+0,2,' ',1, 1,1.0000,
0,1.0000, 0,1.0000, 0,1.0000,' '
0.00000E+0, 1.20000E-2, 100.00
1.00000, 0.000, 0.000, 0.00, 0.00, 0.00, 0, 0, 1.10000, 0.90000,
1.10000, 0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000, 0.000
1.00000, 0.000
0 / END OF TRANSFORMER DATA, BEGIN AREA DATA
0 / END OF AREA DATA, BEGIN TWO-TERMINAL DC DATA
0 / END OF TWO-TERMINAL DC DATA, BEGIN VSC DC LINE DATA
0 / END OF VSC DC LINE DATA, BEGIN IMPEDANCE CORRECTION DATA
0 / END OF IMPEDANCE CORRECTION DATA, BEGIN MULTI-TERMINAL DC DATA
0 / END OF MULTI-TERMINAL DC DATA, BEGIN MULTI-SECTION LINE DATA
0 / END OF MULTI-SECTION LINE DATA, BEGIN ZONE DATA
0 / END OF ZONE DATA, BEGIN INTER-AREA TRANSFER DATA
0 / END OF INTER-AREA TRANSFER DATA, BEGIN OWNER DATA
0 / END OF OWNER DATA, BEGIN FACTS DEVICE DATA
0 / END OF FACTS DEVICE DATA, BEGIN SWITCHED SHUNT DATA
0 / END OF SWITCHED SHUNT DATA, BEGIN GNE DATA
0 / END OF GNE DATA, BEGIN INDUCTION MACHINE DATA
0 / END OF INDUCTION MACHINE DATA
Q

```

### ANEXO III. PARÁMETROS ELÉCTRICOS

#### Parámetros eléctricos de las Cargas

Bus Number	Bus Name	Id	Code	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Owner Num	Owner Name	In Service	Scalable	Interruptible	Pload (MW)	Qload (Mvar)
8	ALCUDIA 220,00	1	1	1		1		1		1	1	0	250	41,667
10	66	1	1	1		1		1		1	1	0	150	25
11	66	1	1	1		1		1		1	1	0	150	25
12	LLUCMAJOR 66,000	1	1	1		1		1		1	1	0	150	25
13	66	1	1	1		1		1		1	1	0	100	16,667
15	CALA MESQUID132,00	1	1	1		1		1		1	1	0	100	16,667
501	MANACOR 66,000	1	1	1		1		1		1	1	0	0	0
										1	1	0		

Bus Number	IPload (MW)	IQload (Mvar)	YPload (MW)	YQload (Mvar)	Grounding flag	PNeg (MW)	QNeg (Mvar)	PZero (MW)	QZero (Mvar)
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
501	0	0	0	0	1	0	0	0	0
					0				

Parámetros eléctricos de los nudos

Bus Number	Bus Name	Base KV	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Owner	Owner Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)	Emergency Vmax (pu)	Emergency Vmin (pu)
1	SON REUS	20	1		1		1		3	1	0	1,1	0,9	1,1	0,9
2	SANTA PONSÀ	220	1		1		1		1	0,996	0,64	1,1	0,9	1,1	0,9
3	MENORCA	20	1		1		1		2	1	0,48	1,1	0,9	1,1	0,9
4	VALLDURGENT	220	1		1		1		1	0,9933	-0,52	1,1	0,9	1,1	0,9
5	SON REUS	220	1		1		1		1	0,9948	-0,88	1,1	0,9	1,1	0,9
6	SON ORLANS	220	1		1		1		1	0,9949	-1,08	1,1	0,9	1,1	0,9
7	LLUVÍ	220	1		1		1		1	0,9936	-0,81	1,1	0,9	1,1	0,9
8	ALCUDIA	220	1		1		1		1	0,9943	-0,34	1,1	0,9	1,1	0,9
9	ES BESSONS	220	1		1		1		1	0,9915	-1,16	1,1	0,9	1,1	0,9
10		66	1		1		1		1	0,987	-2,99	1,1	0,9	1,1	0,9
11		66	1		1		1		1	0,9871	-3,19	1,1	0,9	1,1	0,9
12	LLUCMAJOR	66	1		1		1		1	0,9869	-3,3	1,1	0,9	1,1	0,9
13		66	1		1		1		1	0,9855	-3,25	1,1	0,9	1,1	0,9
14		132	1		1		1		1	0,9918	-0,85	1,1	0,9	1,1	0,9
15	CALA MESQUID	132	1		1		1		1	0,9952	-0,99	1,1	0,9	1,1	0,9
20	ALCUDIA	20	1		1		1		2	1	2,43	1,1	0,9	1,1	0,9
101	SANTA PONSÀ	20	1		1		1		2	1	3,51	1,1	0,9	1,1	0,9
201	CAS TESORER	20	1		1		1		2	1	-0,39	1,1	0,9	1,1	0,9
401	MANACOR	66	1		1		1		1	0,9906	-0,51	1,1	0,9	1,1	0,9
501	MANACOR	66	1		1		1		1	0,9939	0,8	1,1	0,9	1,1	0,9
601	ARTA	66	1		1		1		1	1,0006	4,16	1,1	0,9	1,1	0,9
701	EOLICA	20	1		1		1		2	1	4,3	1,1	0,9	1,1	0,9

Parámetros eléctricos de los generadores.

Bus Name	Id	Area Num	Area Name	Zone Num	Zone Name	Code	VSched (pu)	Remote Bus Number	In Service	PGen (MW)	PMax (MW)	PMin (MW)	QGen (Mvar)	QMax (Mvar)	QMin (Mvar)	Mbase (MVA)	R Source (pu)	X Source (pu)
SON REUS 20,000	1	1		1		3	1	0	1	131,2022	300	0	45,2283	320	-320	600	0	0,3
MENORCA 20,000	1	1		1		2	1	0	1	100	275	0	19,9606	150	-150	275	0	0,3
ALCUDIA 20,000	1	1		1		2	1	0	1	350	510	0	49,9723	270	-270	510	0	0,3
SANTA PONSA 20,000	1	1		1		2	1	0	1	200	400	0	21,2111	300	-300	100	0	1
CAS TESORER 20,000	1	1		1		2	1	0	1	100	468	0	42,8864	300	-300	100	0	1
EOLICA 20,000	1	1		1		2	1	0	1	20	50	0	-4,9876	20	-20	100	0	1

Bus Name	RTran (pu)	XTran (pu)	Gentap (pu)	Owner 1	Fraction 1	Owner 2	Fraction 2	Owner 3	Fraction 3	Owner 4	Fraction 4	Positive R (pu)	Subtransient X (pu)
SON REUS 20,000	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0,3
MENORCA 20,000	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0,3
ALCUDIA 20,000	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0,3
SANTA PONSA 20,000	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
CAS TESORER 20,000	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1
EOLICA 20,00	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1

Bus Name	Transient X (pu)	Synchronous X (pu)	Negative R (pu)	Negative X (pu)	Zero R (pu)	Zero X (pu)	Grounding Z units	Grounding R	Grounding X	Wind machine Control Mode	Wind Machine Power factor
SON REUS 20,000	0,3	0,3	0	0,3	0	0,3	P.U. (Per Unit)	0	0	Not a wind machine	1
MENORCA 20,000	0,3	0,3	0	0,3	0	0,3	P.U. (Per Unit)	0	0	Not a wind machine	1
ALCUDIA 20,000	0,3	0,3	0	0,3	0	0,3	P.U. (Per Unit)	0	0	Not a wind machine	1
SANTA PONSA 20,000	1	1	0	1	0	1	P.U. (Per Unit)	0	0	Not a wind machine	1
CAS TESORER 20,000	1	1	0	1	0	1	P.U. (Per Unit)	0	0	Not a wind machine	1
EOLICA 20,000	1	1	0	1	0	1	P.U. (Per Unit)	0	0	Not a wind machine	1
							P.U. (Per Unit)			Not a wind machine	

Parámetros eléctricos de las líneas.

From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Id	Line R (pu)	Line X (pu)	Charging B (pu)	In Service	Metered	Rate A	Rate B	Rate C	Line From (pu)	Line B From (pu)	Line G To (pu)	Line B To (pu)	Length
2	SANTA PONSÀ 220,00	4	VALLDURGENT 220,00	1	0,000826	0,01	0,017	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	VALLDURGENT 220,00	5	SON REUS 220,00	1	0,00223	0,0145	0,02526	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	SON REUS 220,00	6	SON ORLANS 220,00	1	0,00186	0,01209	0,02105	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	SON REUS 220,00	7	LLUVÍ 220,00	1	0,00508	0,03304	0,05755	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	SON ORLANS 220,00	7	LLUVÍ 220,00	1	0,00421	0,0274	0,04772	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	LLUVÍ 220,00	8	ALCUDIA 220,00	1	0,00248	0,01612	0,02807	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	LLUVÍ 220,00	8	ALCUDIA 220,00	2	0,00248	0,01612	0,02807	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	LLUVÍ 220,00	9	ES BESSONS 220,00	1	0,00236	0,01531	0,02667	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
7	LLUVÍ 220,00	9	ES BESSONS 220,00	2	0,00236	0,01531	0,02667	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	66	11	66	1	0,0202	0,04209	0,01322	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	66	12	LLUCMAJOR 66,000	1	0,08264	0,17218	0,00601	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	66	12	LLUCMAJOR 66,000	1	0,01837	0,03826	0,01202	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	LLUCMAJOR 66,000	13	66	1	0,073	0,15209	0,02124	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	132	15	CALA MESQUID 132,00	1	0,08035	0,12052	0,04513	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
401	MANACOR 66,000	501	MANACOR 66,000	1	0,039	0,108	0,008	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
501	MANACOR 66,000	601	ARTA 66,000	1	0,097	0,272	0,02	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0



From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Owner 1	Fraction 1	Owner 2	Fraction 2	Owner 3	Fraction 3	Owner 4	Fraction 4	R-Zero (pu)	X-Zero (pu)	B-Zero (pu)	Zero Seq G From (pu)	Zero Seq B From (pu)	Zero Seq G To (pu)	Zero Seq B To (pu)	MOV Protection Mode	MOV Rated Current(kA)
2	SANTA PONSA 220,00	4	VALLDURGENT 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
4	VALLDURGENT 220,00	5	SON REUS 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
5	SON REUS 220,00	6	SON ORLANS 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
5	SON REUS 220,00	7	LLUVÍ 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
6	SON ORLANS 220,00	7	LLUVÍ 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
7	LLUVÍ 220,00	8	ALCUDIA 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
7	LLUVÍ 220,00	8	ALCUDIA 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
7	LLUVÍ 220,00	9	ES BESSONS 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
7	LLUVÍ 220,00	9	ES BESSONS 220,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
10	66	11	66	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0

10	66	12	LLUCMAJOR 66,000	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
11	66	12	LLUCMAJOR 66,000	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
12	LLUCMAJOR 66,000	13	66	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
14	132	15	CALA MESQUID132,00	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
401	MANACOR 66,000	501	MANACOR 66,000	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0
501	MANACOR 66,000	601	ARTA 66,000	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	Not a MOV protected branch	0

Parámetros transformadores.

From Bus Number	From Bus Name	To Bus Number	To Bus Name	Id	Name	In Service	Metered	Winding 1 Side	Controlled Bus	Controlled Side	Tap Positions	Control Mode	Auto Adjust	Winding I/O Code	Impedance I/O Code	Admittance I/O Code	Specified R (pu or watts)	Specified X (pu)
1	SON REUS 20.000	5	SON REUS 220.00	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.01167
2	SANTA PONSÀ 220.00	101	SANTA PONSÀ 20.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.025
3	MENORCA 20.000	15	CALA MESQUID 132.00	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.02545
4	VALLDURGEN 220.00	10	66.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.02667
5	SON REUS 220.00	11	66.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.02667
6	SON ORLANS 220.00	12	LLUCMAJOR 66.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.02667
6	SON ORLANS 220.00	201	CAS TESORER 20.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.012
8	ALCUDIA 220.00	20	ALCUDIA 20.000	1		1	0	0	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.01373
9	ES BESSONS 220.00	13	66.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.03556
9	ES BESSONS 220.00	14	132	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.02667
14	132	401	MANACOR 66.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.03
601	ARTA 66.000	701	EOLICA 20.000	1		1	1	1	0	0	33	None	0	Turns ratio (pu on bus base kV)	Zpu (system base)	Y pu (system base)	0	0.012

## ANEXO IV. REPORTE DE DATOS DESPACHO ECONÓMICO

En este anexo se muestran los reportes de algunos de los ensayos para el cálculo de la tabla de costes. Debido a las numerosas muestras (1000), se mostrarán los reportes de 6 de ellas. Esto podrá servir para una mayor comprensión de los valores de costes de la tabla, sabiendo lo que produce cada generador.

### Ensayo 1

- Demanda: 270 MW
- Producción eólica: 0 MW
- Precio Peninsular: 0 \$/MWh

#### Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	0.00	0.00	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	0.000	1.000
2	Poly	0.00	0.00	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	0.000	1.000
3	Poly	0.00	0.00	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	0.000	1.000
4	Poly	0.00	272.86	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	272.862	1.000
5	Poly	0.00	0.00	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	0.000	1.000
6	Poly	0.00	0.50	0.00	1.00	701	EOLICA	20.000	1	0.500	1.000
=====											
Totals:		0.00	273.36	0.00	1954.00						

#### Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus #	Name	kV	Area Zone	MW Mvar	Pmin Qmin	Pmax Qmax	Pchange Qchange	Lambda	Voltage Vchange	Vmin Vmax	V-Sens Q-Sens
1	SON REUS	20.000	1	0.00		300.00	-39.308	-0.000	1.0007	0.9500	
			1	8.00	-320.00	320.00	-37.233	-0.000		1.0500	-0.0000

3	MENORCA	20.000	1	0.00		275.00	-29.960	-0.000	1.0002	0.9500	
			1	17.34	-150.00	150.00	-2.625	-0.000		1.0500	-0.0000
20	ALCUDIA	20.000	1	0.00		510.00	-104.860	-0.000	0.9995	0.9500	
			1	8.76	-270.00	270.00	-41.217	-0.000		1.0500	-0.0000
101	SANTA PONSA	20.000	1	272.86		400.00	212.942	-0.000	0.9997	0.9500	
			1	3.35	-300.00	300.00	-17.859	-0.000		1.0500	-0.0000
201	CAS TESORER	20.000	1	0.00		468.00	-29.960	-0.000	1.0007	0.9500	
			1	10.12	-300.00	300.00	-32.771	-0.000		1.0500	-0.0000
701	EOLICA	20.000	1	0.50		50.00	-5.492	-0.000	1.0005	0.9500	
			1	-2.36	-20.00	20.00	2.623	0.000		1.0500	0.0004

## Ensayo 2

- Demanda: 340 MW
- Producción eólica: 50 MW
- Precio Peninsular: 30 \$/MWh

### Generator Fuel Cost Summary:

-----

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	0.00	0.00	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	0.000	1.000
2	Poly	0.00	0.00	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	0.000	1.000
3	Poly	0.00	0.00	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	0.000	1.000
4	Poly	8900.18	296.67	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	296.673	1.000
5	Poly	0.00	0.00	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	0.000	1.000
6	Poly	0.00	50.00	0.00	50.00	701	EOLICA	20.000	1	50.000	1.000
=====											
Totals:				8900.18	346.67						
				0.00	2003.00						

### Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus # Name	kV	Area Zone	MW Mvar	Pmin Qmin	Pmax Qmax	Pchange Qchange	Lambda	Voltage Vchange	Vmin Vmax	V-Sens Q-Sens
1 SON REUS	20.000	1	0.00		300.00	-3040.532		1.0465	0.9500	
		1	29.06	-320.00	320.00	-3.099	-0.000	-0.0018	1.0500	-0.0000
3 MENORCA	20.000	1	0.00		275.00	-3255.759		1.0058	0.9500	
		1	5.55	-150.00	150.00	0.028	-0.000	-0.0029	1.0500	-0.0000
20 ALCUDIA	20.000	1	0.00		510.00	-3069.597		1.0395	0.9500	
		1	13.97	-270.00	270.00	1.810	-0.000	-0.0012	1.0500	-0.0000
101 SANTA PONSA	20.000	1	296.67		400.00	-9.067-3000.000		1.0500 U	0.9500	-70.3977
		1	19.54	-300.00	300.00	2.676	0.000		1.0500	0.0000
201 CAS TESORER	20.000	1	0.00		468.00	-3050.645		1.0421	0.9500	
		1	6.32	-300.00	300.00	0.299	-0.000	-0.0014	1.0500	-0.0000
701 EOLICA	20.000	1	50.00		50.00	10.000-2681.732		1.0490 U	0.9500	-0.1778
		1	-8.56	-20.00	20.00	-0.629	0.003		1.0500	0.0026

Summary Table for Tap Changing Transformers:

From Bus To Bus	kV kV	Area Area	Zone Zone	Voltage Voltage	Ratio Change	Minimum Maximum	MW Flow MV Flow	Sensitivity Tap	Volt
1 SON REUS	20.000	1	1	1.04653	1.00000 F	0.90000	0.000	1.71280	
5 SON REUS	220.00	1	1	1.04329		1.10000	29.081		
4 VALLDURGENT	220.00	1	1	1.04573	1.00000 F	0.90000	99.531	10.92981	
10	66.000	1	1	1.04484		1.10000	4.709		
5 SON REUS	220.00	1	1	1.04329	1.00000 F	0.90000	44.166	-3.96991	
11	66.000	1	1	1.04069		1.10000	10.418		
6 SON ORLANS	220.00	1	1	1.04132	1.00000 F	0.90000	35.611	-11.04978	
12 LLUCMAJOR	66.000	1	1	1.03855		1.10000	11.004		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03721	1.00000 F	0.90000	28.871	9.69591	

13	66.000	1	1	1.03478		1.10000	7.230		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03721	1.00000 F	0.90000	-7.941	-63.71444	
14	132.00	1	1	1.03384		1.10000	13.115		
2 SANTA PONSA	220.00	1	1	1.04773	1.00000 F	0.90000	-296.672	-73.26218	
101 SANTA PONSA	20.000	1	1	1.05000u		1.10000	0.507		-70.39770
14	132.00	1	1	1.03384	1.00000 F	0.90000	-46.856	-137.29720	
401 MANACOR	66.000	1	1	1.02949		1.10000	15.285		

### Ensayo 3

- Demanda: 500 MW
- Producción eólica: 40 MW
- Precio Peninsular: 60 \$/MWh

#### Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	0.01	0.00	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	0.000	1.000
2	Poly	1876.48	33.57	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	33.566	1.000
3	Poly	1814.90	32.87	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	32.872	1.000
4	Poly	24000.00	400.00	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	400.000	1.000
5	Poly	0.00	0.00	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	0.000	1.000
6	Poly	0.00	40.00	0.00	40.00	701	EOLICA	20.000	1	40.000	1.000
=====											
Totals:		27691.38	506.44	0.00	1993.00						

#### Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus #	Name	kV	Area	MW	Pmin	Pmax	Pchange	Voltage	Vmin	V-Sens
			Zone	Mvar	Qmin	Qmax	Qchange	Vchange	Vmax	Q-Sens

1 SON REUS	20.000	1	0.00	300.00	-6794.655	1.0499 U	0.9500	-10.6080
		1	57.66	320.00	0.715		1.0500	-0.0000
3 MENORCA	20.000	1	33.57	275.00	-2.030-7100.912	1.0185	0.9500	
		1	7.40	150.00	0.080	-0.0026	1.0500	-0.0000
20 ALCUDIA	20.000	1	32.87	510.00	-2.426-6872.103	1.0393	0.9500	
		1	20.36	270.00	0.938		1.0500	-0.0000
101 SANTA PONS	20.000	1	400.00	400.00	-6673.513	1.0500 U	0.9500	-334.8532
		1	30.86	300.00	0.404		1.0500	-0.0000
201 CAS TESORER	20.000	1	0.00	468.00	-6824.228	1.0423	0.9500	
		1	12.64	300.00	0.076		1.0500	-0.0000
701 EOLICA	20.000	1	40.00	50.00	5.000-6172.105	1.0492 U	0.9500	-0.2892
		1	-7.32	20.00	-0.575		1.0500	0.0012

Summary Table for Tap Changing Transformers:

From Bus To Bus	kV kV	Area Area	Zone Zone	Voltage Voltage	Ratio Change	Minimum Maximum	MW Flow MV Flow	Sensitivity Tap	Volt
1 SON REUS	20.000	1	1	1.04987u	1.00000 F	0.90000	0.000	11.13701	-10.60801
5 SON REUS	220.00	1	1	1.04346		1.10000	57.659		
4 VALLDURGENT	220.00	1	1	1.04498	1.00000 F	0.90000	139.457	60.52914	
10	66.000	1	1	1.04373		1.10000	7.293		
5 SON REUS	220.00	1	1	1.04346	1.00000 F	0.90000	66.587	-10.50524	
11	66.000	1	1	1.03905		1.10000	17.785		
6 SON ORLANS	220.00	1	1	1.04089	1.00000 F	0.90000	55.077	-39.99130	
12 LLUCMAJOR	66.000	1	1	1.03644		1.10000	17.759		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03633	1.00000 F	0.90000	45.115	18.18720	
13	66.000	1	1	1.03256		1.10000	11.323		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03633	1.00000 F	0.90000	-15.621	-193.46657	
14	132.00	1	1	1.03414		1.10000	8.571		



2 SANTA PONSA	220.00	1	1	1.04699	1.00000 F	0.90000	-400.000	-346.67432	
101 SANTA PONSA	20.000	1	1	1.05000u		1.10000	5.635		-334.85317
14	132.00	1	1	1.03414	1.00000 F	0.90000	-37.986	-245.81002	
401 MANACOR	66.000	1	1	1.03114		1.10000	10.529		

Ensayo 4

- Demanda: 700 MW
- Producción eólica: 50 MW
- Precio Peninsular: 135 \$/MWh

## Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	4542.08	43.73	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	43.732	1.000
2	Poly	8878.89	102.27	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	102.267	1.000
3	Poly	10514.70	117.07	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	117.070	1.000
4	Poly	47334.99	350.63	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	350.630	1.000
5	Poly	4544.61	42.24	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	42.243	1.000
6	Poly	0.00	50.00	0.00	50.00	701	EOLICA	20.000	1	50.000	1.000
=====											
Totals:		75815.28	705.94	0.00	2003.00						

## Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus #	Name	kV	Area Zone	MW Mvar	Pmin Qmin	Pmax Qmax	Pchange Qchange	Lambda	Voltage Vchange	Vmin Vmax	V-Sens Q-Sens
1	SON REUS	20.000	1	43.73		300.00	-0.043	-1.4E+04	1.0414	0.9500	
			1	44.51	-320.00	320.00	-2.405	-0.000		1.0500	-0.0000
3	MENORCA	20.000	1	102.27		275.00	-0.092	-1.3E+04	1.0491 U	0.9500	-7.3468
			1	13.40	-150.00	150.00	0.679	-0.000		1.0500	-0.0000
20	ALCUDIA	20.000	1	117.07		510.00	-0.155	-1.4E+04	1.0362	0.9500	
			1	35.64	-270.00	270.00	2.515	-0.000		1.0500	-0.0000

101 SANTA PONSA	20.000	1	350.63		400.00	-8.707	-1.4E+04	1.0500	U	0.9500	-274.7597
		1	44.88	-300.00	300.00	0.617	-0.000			1.0500	-0.0000
201 CAS TESORER	20.000	1	42.24		468.00	-0.059	-1.4E+04	1.0366		0.9500	
		1	19.52	-300.00	300.00	0.678	-0.000			1.0500	-0.0000
701 EOLICA	20.000	1	50.00		50.00	10.000	-1.2E+04	1.0492	U	0.9500	-0.3034
		1	-6.94	-20.00	20.00	-0.894	0.001			1.0500	0.0011

Summary Table for Tap Changing Transformers:

From Bus To Bus	kV kV	Area Area	Zone Zone	Voltage Voltage	Ratio Change	Minimum Maximum	MW Flow MV Flow	Sensitivity Tap	Volt
3 MENORCA	20.000	1	1	1.04914u	1.00000 F	0.90000	102.267	7.70785	-7.34682
15 CALA MESQUID	132.00	1	1	1.04618		1.10000	13.400		
4 VALLDURGENT	220.00	1	1	1.03875	1.00000 F	0.90000	157.918	19.32693	
10	66.000	1	1	1.03475		1.10000	18.675		
5 SON REUS	220.00	1	1	1.03641	1.00000 F	0.90000	103.623	-22.26229	
11	66.000	1	1	1.03075		1.10000	23.338		
6 SON ORLANS	220.00	1	1	1.03440	1.00000 F	0.90000	93.878	-38.16710	
12 LLUCMAJOR	66.000	1	1	1.02864		1.10000	23.441		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03037	1.00000 F	0.90000	72.698	74.72842	
13	66.000	1	1	1.02578		1.10000	14.210		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03037	1.00000 F	0.90000	-70.932	-369.96850	
14	132.00	1	1	1.02724		1.10000	12.745		
2 SANTA PONSA	220.00	1	1	1.04266	1.00000 F	0.90000	-350.630	-282.62488	
101 SANTA PONSA	20.000	1	1	1.05000u		1.10000	-16.549		-274.75967
14	132.00	1	1	1.02724	1.00000 F	0.90000	-46.883	-476.51904	
401 MANACOR	66.000	1	1	1.02336		1.10000	13.607		

Ensayo 5

- Demanda: 770 MW
- Producción eólica: 30 MW
- Precio Peninsular: 120 \$/MWh

## Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	5564.95	50.92	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	50.917	1.000
2	Poly	10396.71	113.28	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	113.282	1.000
3	Poly	12470.25	130.69	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	130.694	1.000
4	Poly	48000.00	400.00	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	400.000	1.000
5	Poly	5657.01	50.03	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	50.030	1.000
6	Poly	0.00	30.00	0.00	30.00	701	EOLICA	20.000	1	30.000	1.000
=====											
Totals:		82088.93	774.92	0.00	1983.00						

## Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus #	Name	kV	Area Zone	MW Mvar	Pmin Qmin	Pmax Qmax	Pchange Qchange	Lambda	Voltage Vchange	Vmin Vmax	V-Sens Q-Sens
1	SON REUS	20.000	1	50.92		300.00	-0.907	-1.5E+04	1.0433	0.9500	
			1	58.89	-320.00	320.00	0.397	-0.000		1.0500	-0.0000
3	MENORCA	20.000	1	113.28		275.00	-1.138	-1.4E+04	1.0500	0.9500	-371.6570
			1	12.89	-150.00	150.00	0.687	-0.000		1.0500	-0.0000
20	ALCUDIA	20.000	1	130.69		510.00	-1.692	-1.5E+04	1.0355	0.9500	
			1	35.84	-270.00	270.00	0.918	-0.000		1.0500	-0.0000

101 SANTA PONSA	20.000	1	400.00		400.00	-1.5E+04	1.0500	U	0.9500	-496.3816
		1	50.32	-300.00	300.00	-0.370	-0.000		1.0500	-0.0000
201 CAS TESORER	20.000	1	50.03		468.00	-0.977	-1.5E+04	1.0369	0.9500	
		1	21.65	-300.00	300.00	0.266	-0.000		1.0500	-0.0000
701 EOLICA	20.000	1	30.00		50.00	5.000	-1.4E+04	1.0495	U	0.9500
		1	-4.21	-20.00	20.00	-0.994	0.001		1.0500	-0.5294
										0.0006

Summary Table for Tap Changing Transformers:

From Bus To Bus	kV kV	Area Area	Zone Zone	Voltage Voltage	Ratio Change	Minimum Maximum	MW Flow MV Flow	Sensitivity Tap	Volt
3 MENORCA	20.000	1	1	1.05000u	1.00000 F	0.90000	113.282	390.23954	-371.65697
15 CALA MESQUID	132.00	1	1	1.04724		1.10000	12.889		
4 VALLDURGENT	220.00	1	1	1.03853	1.00000 F	0.90000	176.250	63.67994	
10	66.000	1	1	1.03443		1.10000	19.836		
5 SON REUS	220.00	1	1	1.03673	1.00000 F	0.90000	113.641	-24.72105	
11	66.000	1	1	1.03023		1.10000	26.888		
6 SON ORLANS	220.00	1	1	1.03438	1.00000 F	0.90000	103.038	-56.33723	
12 LLUCMAJOR	66.000	1	1	1.02789		1.10000	26.537		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03009	1.00000 F	0.90000	78.109	65.25683	
13	66.000	1	1	1.02466		1.10000	16.735		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.03009	1.00000 F	0.90000	-56.043	-451.56452	
14	132.00	1	1	1.02869		1.10000	5.810		
2 SANTA PONSA	220.00	1	1	1.04238	1.00000 F	0.90000	-400.000	-509.30635	
101 SANTA PONSA	20.000	1	1	1.05000u		1.10000	-13.463		-496.38158
14	132.00	1	1	1.02869	1.00000 F	0.90000	-28.882	-238.18255	
401 MANACOR	66.000	1	1	1.02736		1.10000	4.655		

## Ensayo 6

- Demanda: 850 MW
- Producción eólica: 40 MW
- Precio Peninsular: 135 \$/MWh

### Generator Fuel Cost Summary:

id	Type	Fuel \$	MW Output	MW Minimum	MW Maximum	Bus #	Name	kV	ID	Pgen	Pfrac
1	Poly	7675.05	64.28	0.00	300.00	1	SON REUS	20.000	1	64.282	1.000
2	Poly	13229.35	132.02	0.00	275.00	3	MENORCA	20.000	1	132.018	1.000
3	Poly	16399.18	155.36	0.00	510.00	20	ALCUDIA	20.000	1	155.363	1.000
4	Poly	54000.00	400.00	0.00	400.00	101	SANTA PONSA	20.000	1	400.000	1.000
5	Poly	7933.02	64.39	0.00	468.00	201	CAS TESORER	20.000	1	64.393	1.000
6	Poly	0.00	40.00	0.00	40.00	701	EOLICA	20.000	1	40.000	1.000
=====											
Totals:		99236.61	856.06	0.00	1993.00						

### Summary Table for Regulated Voltage Buses:

Bus #	Name	kV	Area Zone	MW Mvar	Pmin Qmin	Pmax Qmax	Pchange Qchange	Lambda	Voltage Vchange	Vmin Vmax	V-Sens Q-Sens
1	SON REUS	20.000	1	64.28		300.00	-0.894	-1.7E+04	1.0383	0.9500	
			1	56.09	-320.00	320.00	0.615	-0.000		1.0500	-0.0000
3	MENORCA	20.000	1	132.02		275.00	-1.080	-1.6E+04	1.0500	0.9500	-681.7484
			1	14.70	-150.00	150.00	0.613	-0.000		1.0500	-0.0000
20	ALCUDIA	20.000	1	155.36		510.00	-1.668	-1.7E+04	1.0318	0.9500	
			1	43.69	-270.00	270.00	1.134	-0.000		1.0500	-0.0000
101	SANTA PONSA	20.000	1	400.00		400.00		-1.7E+04	1.0500	0.9500	-373.3048
			1	62.34	-300.00	300.00	-0.642	-0.000		1.0500	-0.0000
201	CAS TESORER	20.000	1	64.39		468.00	-0.962	-1.7E+04	1.0327	0.9500	

		1	25.81	-300.00	300.00	0.337	-0.000		1.0500	-0.0000
701 EOLICA	20.000	1	40.00		50.00	5.000	-1.5E+04	1.0495 U	0.9500	-0.5032
		1	-4.36	-20.00	20.00	-0.786	0.001		1.0500	0.0006

Summary Table for Tap Changing Transformers:

From Bus To Bus	kV kV	Area Area	Zone Zone	Voltage Voltage	Ratio Change	Minimum Maximum	MW Flow MV Flow	Sensitivity Tap	Volt
3 MENORCA	20.000	1	1	1.05000u	1.00000 F	0.90000	132.018	715.83556	-681.74843
15 CALA MESQUID	132.00	1	1	1.04693		1.10000	14.696		
4 VALLDURGENT	220.00	1	1	1.03455	1.00000 F	0.90000	187.210	4.69611	
10	66.000	1	1	1.02930		1.10000	24.752		
5 SON REUS	220.00	1	1	1.03200	1.00000 F	0.90000	127.457	-33.21225	
11	66.000	1	1	1.02492		1.10000	29.429		
6 SON ORLANS	220.00	1	1	1.02969	1.00000 F	0.90000	117.091	-42.34785	
12 LLUCMAJOR	66.000	1	1	1.02255		1.10000	29.313		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.02476	1.00000 F	0.90000	88.114	121.17490	
13	66.000	1	1	1.01896		1.10000	18.046		
9 ES BESSONS	220.00	1	1	1.02476	1.00000 F	0.90000	-74.553	-636.89413	
14	132.00	1	1	1.02214		1.10000	10.794		
2 SANTA PONSA	220.00	1	1	1.03953	1.00000 F	0.90000	-400.000	-380.88817	
101 SANTA PONSA	20.000	1	1	1.05000u		1.10000	-25.177		-373.30484
14	132.00	1	1	1.02214	1.00000 F	0.90000	-38.019	-290.47114	
401 MANACOR	66.000	1	1	1.02000		1.10000	7.506		

## ANEXO V. DIAGRAMA Y MAPA TRANSPORTE BALEAR

